MAX

1|2 B

NOVA

VWO|GYMNASIUM

NaSk



NAAM EN KLAS:

MALMBERG



1|2 VWO|GYMNASIUM Deel B

NaSk

Auteurs
R. Cremers
P. van Hoeflaken
F. Kan
M. Kelder
L. Lenders
P. Oosterlaak
C. Schatorjé
T. Seynaeve
R. Tromp

Eindredactie
S. Michon

MAX Release 2021

www.malmberg.nl/nova-natuurkunde
Malmberg, 's-Hertogenbosch

Aan de slag met Nova

Waarom Nova?

Natuur- en scheikunde gaat over de wereld om je heen. Met Nova heb je alles binnen handbereik om dit te ervaren, te beleven en te ontdekken!





Werk in je boek én online!

Er zijn twee boeken per leerjaar en een online leeromgeving. Je docent kiest wat je online doet (met laptop, tablet of telefoon) en wat in je boek. Elk hoofdstuk is verdeeld in theorieparagrafen, practica, een praktijkartikel en een leerstofoverzicht. Aan het begin van elke paragraaf is met leerdoelen aangegeven wat je gaat leren. Aan het einde van elke paragraaf staat extra stof. In het onderdeel practica ga je met proeven aan de slag en leer je onderzoeken. Aan het einde van elk hoofdstuk staat een praktijkartikel, waarin een deel van de lesstof in een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap wordt besproken. In de afsluiting vind je de onderdelen Onthoud en Begrippen.

Voordelen van online

- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je krijgt direct feedback op je antwoorden.
- Je bekijkt filmpjes en animaties.
- Je oefent belangrijke vaardigheden met de *Vaardigheidstrainer*.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* of *Diagnostische toets*.
- Je kunt op een hoger of lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe je het doet.

Vaardigheden

Aan het eind van elk boek vind je het onderdeel Vaardigheden, waarin de belangrijkste vaardigheden om onderzoek te doen worden uitgelegd. Enkele belangrijke vaardigheden kun je online oefenen met de Vaardigheidstrainer.

Goede voorbereiding op de toets!

In het boek vind je in de afsluiting van elk hoofdstuk de onderdelen Onthoud en Begrippen die je helpen bij de voorbereiding op de toets.
Elk hoofdstuk wordt in de online paragraaf Afsluiting afgesloten met een *Samenvattende opdracht*. Hier vind je ook *Flitskaarten* voor het leren van alle begrippen en er is een *Diagnostische toets*. Twijfel je of je de stof voldoende beheerst? Maak dan de *Test jezelf* of *Oefentoets*.

Voordelen van het boek

- Je hebt snel overzicht in wat je gaat leren.
- Je leest lange teksten op papier.
- Je markeert in de tekst en maakt aantekeningen.
- Je tekent en kleurt zodat je leerstof goed onthoudt.

Betekenis symbolen

 ga naar de online leeromgeving voor handige extra’s

PROEF 1 er is een practicum bij deze lesstof

 gebruik de vaardigheid bij deze opdracht

 met dit practicum ben je zo lang bezig

 deze opdracht biedt extra uitdaging

Inhoud Deel A

Inhoud Deel B

5 Bewegen

SPORT EN VERKEER

In de sport en in het verkeer draait alles om beweging. Daarom zijn er allerlei technieken ontwikkeld om bewegingen vast te leggen, te analyseren en te beschrijven. De resultaten worden gebruikt om sportprestaties te verbeteren en om het verkeer veiliger te maken.



1 Bewegingen vastleggen

LEERDOELEN

5.1.1 Je kunt uitleggen op welke twee manieren je een beweging kunt vastleggen.
5.1.2 Je kunt benoemen welke twee grootheden je moet weten om uit een video-opname of een stroboscopische foto de gegevens voor een plaats-tijddiagram te halen.
5.1.3 Je kunt een plaats-tijdtabel invullen.
5.1.4 Je kunt in een plaats-tijddiagram of (x,t)-diagram bij een tijdstip de bijbehorende plaats aflezen en omgekeerd.
5.1.5 Je kunt uitleggen wat afgelegde afstand is.
EXTRA 5.1.6 Je kunt uitleggen hoe je een finishfoto maakt.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	5.1.1	5.1.2	5.1.3	5.1.4	5.1.5	5.1.6
Onthouden	1abc					9abcd, 10a
Begrijpen	3ab, 4a	2		1d, 7b		10bef
Toepassen		4b, 5abc	6a	7a	6bc, 7d	10c
Analyseren		8		7c		10dg

Veel bewegingen gaan zo snel dat je ze met het blote oog niet goed kunt volgen. Maar soms willen mensen toch graag weten hoe zo'n beweging verloopt. Hoogspringers en turners kunnen die informatie bijvoorbeeld gebruiken om hun prestaties te verbeteren. Daarom zijn er verschillende manieren bedacht om bewegingen vast te leggen en te analyseren.

BEWEGINGEN FILMEN

Je kunt een beweging vastleggen door het bewegende voorwerp te filmen met een videocamera of een telefoon. In het apparaat wordt dan een **video-opname** opgeslagen: een serie beelden die met korte tussenpozen zijn gemaakt (figuur 1). Veel videocamera's maken opnames van dertig beelden per seconde (in het Engels ook wel 30 *frames per second* of 30 fps genoemd). De tijd tussen twee opeenvolgende beelden is dan 1/30 s = 0,033 s = 33 ms.



figuur 1 Een serie beelden uit een video-opname.

Er zijn computerprogramma's waarmee je een video-opname beeld voor beeld kunt analyseren. Het programma verzamelt dan gegevens over de plaats en de snelheid van het voorwerp, en presenteert die in een tabel of een grafiek.

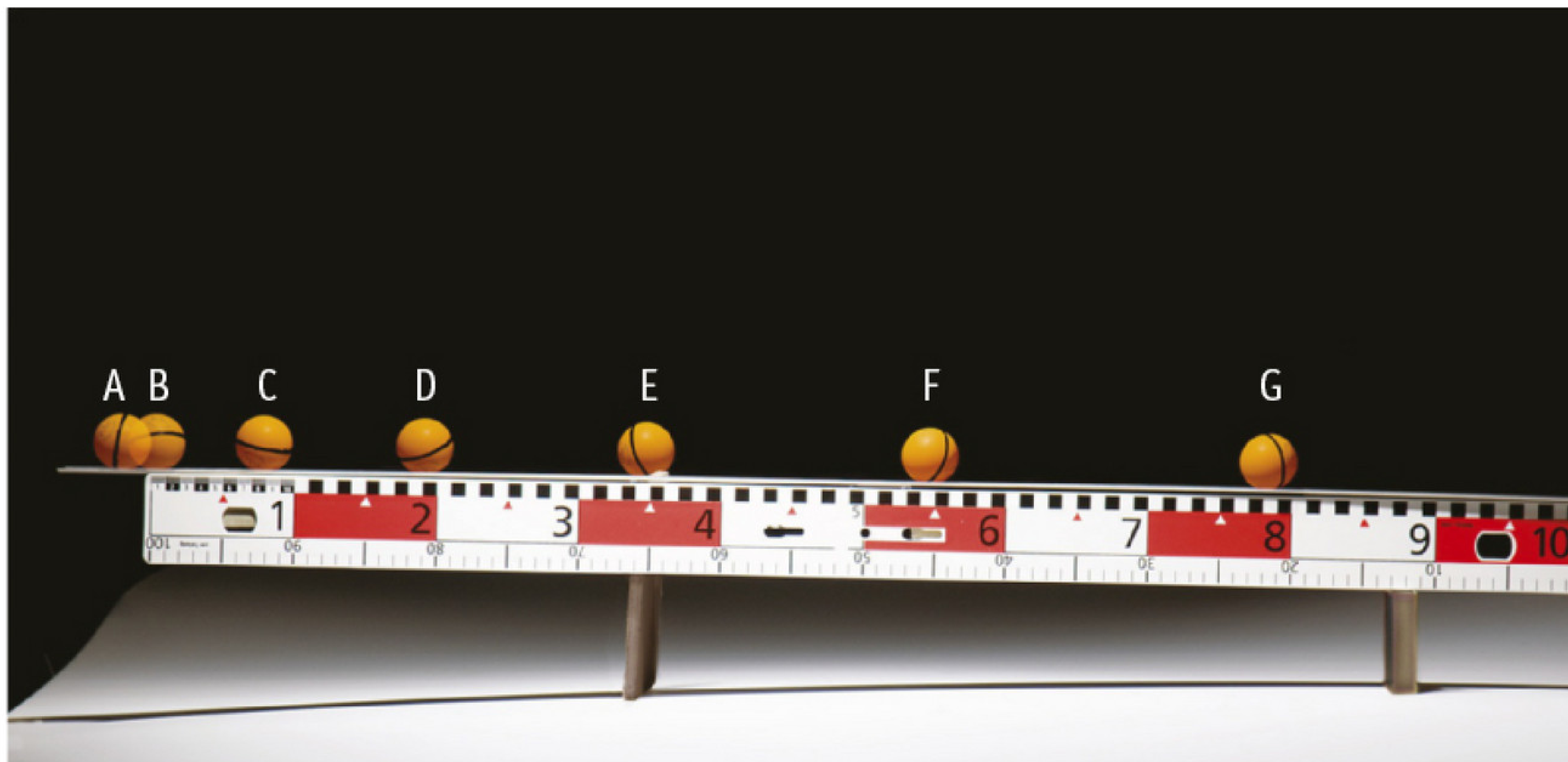
Je kunt niet elke video-opname zo analyseren. Voor een goed resultaat heb je een opname nodig waarbij het voorwerp voor een stilstaande camera langs beweegt. Ook moet er op de opname een meetlat te zien zijn of een ander voorwerp waarvan je de afmetingen kent; daarmee kun je aangeven wat de **schaal** is van het beeld. Ten slotte moet je weten hoeveel beelden per seconde tijdens de opname gemaakt zijn.

STROBOSCOPISCHE FOTO'S MAKEN

PROEF 1

Je kunt een beweging ook vastleggen door een **stroboscopische foto** te maken. Zo'n foto maak je in een verduisterde ruimte, met als enige verlichting een stroboscooplamp. Dat is een lamp die met regelmatige tussenpozen een korte lichtflits geeft. Met een knop op de lamp kun je de tijd tussen twee lichtflitsen instellen.

Tijdens de beweging blijft de sluiter van het fototoestel openstaan. Elke keer dat de lamp een lichtflits geeft, wordt een momentopname van de beweging vastgelegd. Alle momentopnames komen samen op één foto terecht. In figuur 2 zie je een voorbeeld van een rollende bal op een schuin vlak. Je kunt eenvoudig aflezen op welke plaats de bal zich op ieder moment bevindt.



figuur 2 Een stroboscopische foto van een rollende bal.

Een video-opname van een beweging bestaat uit een hele serie beelden. Je kunt de opname met een computerprogramma bewerken tot één gecombineerd beeld. Op die manier krijg je ook een soort stroboscopische foto. Figuur 3 is hier een voorbeeld van.



figuur 3 Een 'stroboscopische foto' op basis van een video-opname.

EEN PLAATS-TIJDTABEL INVULLEN

PROEF 2

Om de rechtlijnige beweging van de rollende bal in figuur 2 te analyseren, kun je een **plaats-tijdtabel** maken. De gegevens voor zo'n tabel haal je uit een video-opname of een stroboscopische foto. Je moet dan wel weten:

- met welke tussenpozen de momentopnames zijn gemaakt;
- hoe groot de afstanden op de beelden in werkelijkheid zijn.

Bij de beweging van de rollende bal is de tijdsduur tussen twee opeenvolgende lichtflitsen 0,5 s. De plaats van de bal kun je aflezen op de meetlat. Daarbij kijk je steeds naar hetzelfde punt van de bal, bijvoorbeeld de rechterkant.

Nu je dit weet, kun je de plaats-tijdtabel invullen.

- De beweging begint bij A. De rechterkant van de bal valt precies samen met de 0 op de meetlat. Dus zet je in tabel 1 bij punt A: tijd = 0 s en plaats = 0 cm.
- Vervolgens lees je af waar de bal is bij B: 3 cm. Je noteert in de tabel bij punt B: tijd = 0,5 s en plaats = 3 cm.

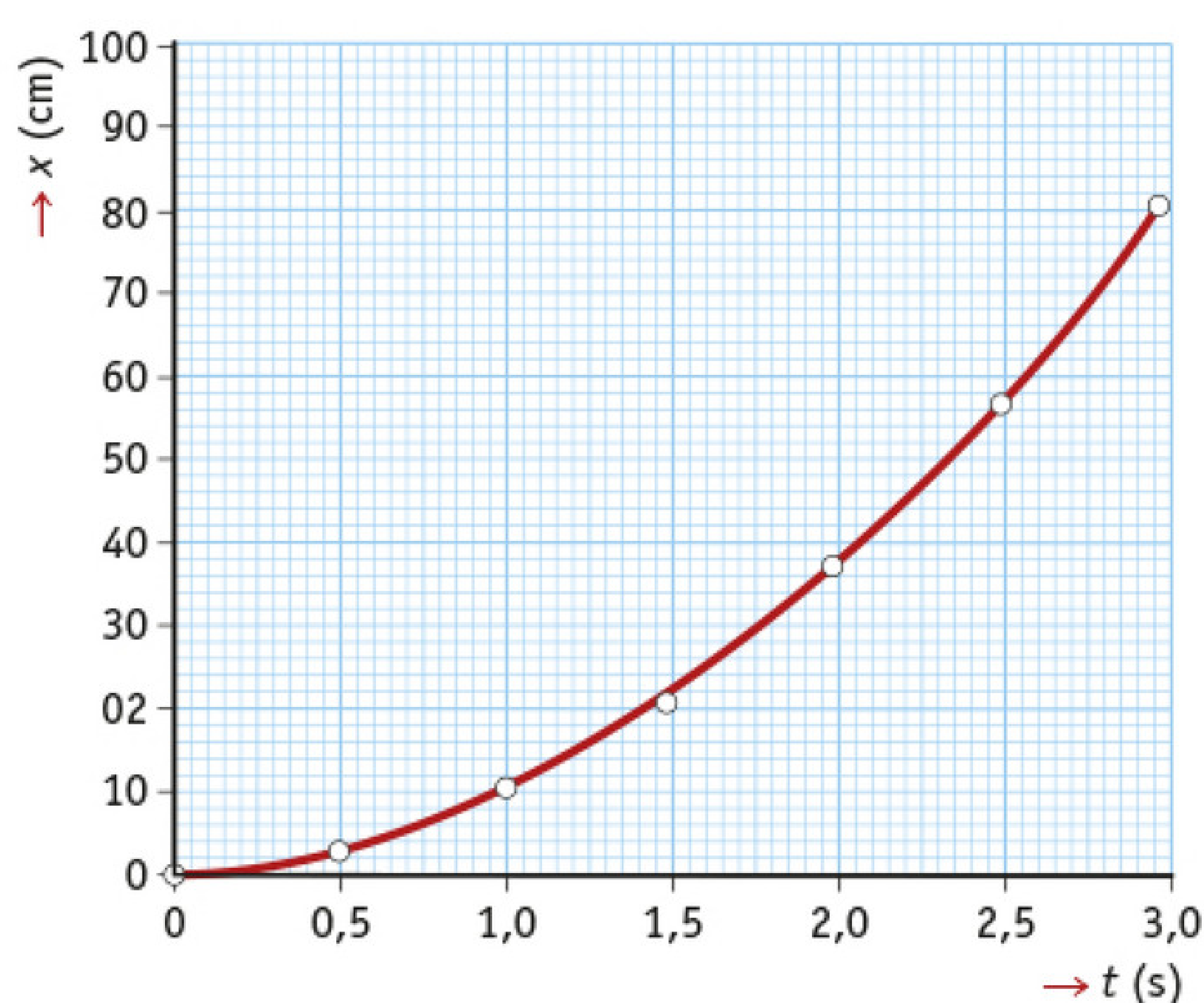
Ga zelf na hoe tabel 1 verder moet worden ingevuld.

tabel 1 Een plaats-tijdtabel.

	tijd (s)	plaats (cm)
A	0	0
B	0,5	3
C	1,0	
D		
E		
F		

EEN PLAATS-TIJDDIAGRAM TEKENEN

Met de gegevens in een plaats-tijdtabel kun je een grafiek van de beweging tekenen. Zo'n grafiek wordt een **plaats-tijddiagram** of **(*x*,*t*)-diagram** genoemd. De letter *x* staat hier voor plaats en de letter *t* voor tijd. In figuur 4 is het (*x*,*t*)-diagram getekend van de beweging in figuur 2. Uit een (*x*,*t*)-diagram kun je bij elk tijdstip de bijbehorende plaats aflezen, en omgekeerd.



figuur 4 Het (*x*,*t*)-diagram van de rollende bal.

AFGELEGDE AFSTAND

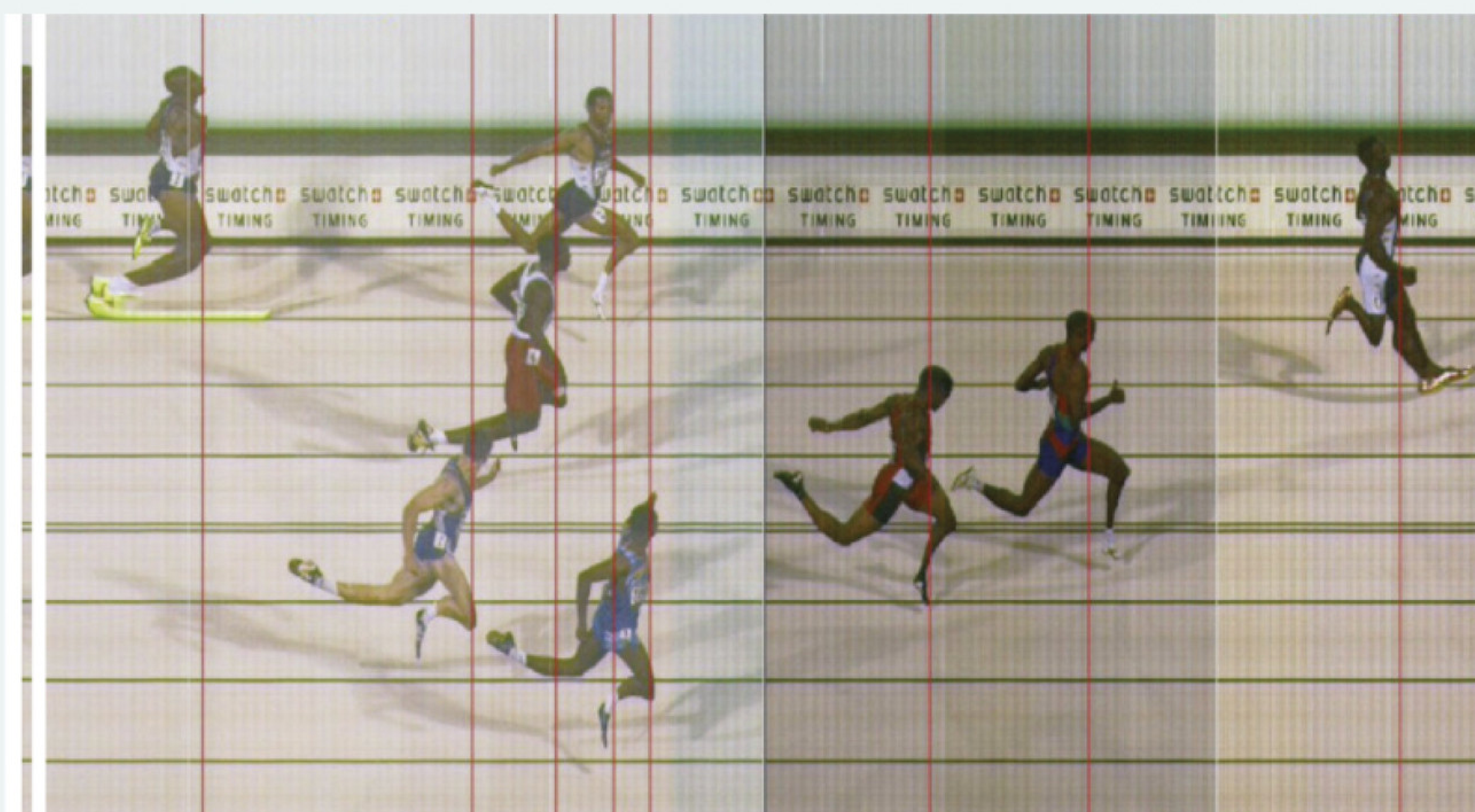
In een plaats-tijddiagram of (x,t)-diagram kun je de **afgelegde afstand** s aflezen. In het (x,t)-diagram van de rollende bal in figuur 4 lees je af dat het verschil in plaats tussen tijdstip t = 0 s en tijdstip t = 2,0 s gelijk is aan 37 cm (s = 37 cm – 0 cm = 37 cm). Tussen het tijdstip t = 0,5 s en t = 1,0 s heeft de bal een afstand van 10 cm – 3 cm = 7 cm afgelegd. Je noteert dan: s = 7 cm. De afgelegde afstand is dus altijd het verschil tussen twee meetwaarden.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA FINISHFOTO'S

Bij de 100 meter hardlopen komen de atleten vaak bijna gelijktijdig over de finish. Soms heeft de jury een finishfoto nodig om erachter te komen wie de winnaar was. Op zo'n foto kun je duidelijk zien in welke volgorde de atleten de finishlijn zijn gepasseerd.

Een finishfoto wordt gemaakt met een speciale camera. Voor de lens van die camera zit een scherm met een verticale spleet. Door die spleet is een smalle strook van de baan te zien, ter hoogte van de finishlijn. Als je één opname met de camera maakt, krijg je een smalle foto waar alleen de 'finishstrook' op staat (figuur 5).



figuur 5 Een finishfoto bestaat uit een serie opnames naast elkaar. Het kleine strookje links is één losse opname, rechts de hele finishfoto.

Een moderne camera voor finishfoto's kan duizenden opnames per seconde maken. Elke opname is maar één pixel breed. Een finishfoto bestaat uit een hele serie van die opnames naast elkaar. Samen vormen deze opnames de finishfoto. Rechts zie je de atleet die als eerste over de finish kwam en links de atleet die als laatste over de finish kwam.

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Hoe kun je een snelle beweging vastleggen? Noteer twee manieren.

b Hoe noem je een lamp die met vaste tussenpozen een lichtflits geeft?

c Hoe noem je een foto die met behulp van zo'n lamp gemaakt wordt?

d Wat wordt bedoeld met 'het (x,t)-diagram van een beweging'?

2 Reduan heeft een video-opname gemaakt van een vallende basketbal. Nu wil hij een plaats-tijdtabel van deze beweging maken.
Welke twee dingen moet hij eerst nagaan, voordat hij de tabel kan invullen?

3 In figuur 6 zie je twee foto's. Bij het nemen van beide foto's bleef de sluiter van de fotocamera openstaan.

a Bij welke foto werd de tafeltennisspeler verlicht door een gewone lamp? Waaraan zie je dat?

b Bij welke foto werd de tafeltennisspeler verlicht door een stroboscooplamp? Waaraan zie je dat?

figuur 6 Gewone lamp of stroboscooplamp?



4 De foto in figuur 7 is gemaakt met een stroboscooplamp.

a Hoeveel keer heeft de lamp geflitst tijdens de sprong?

b De tijdsduur tussen twee lichtflitsen is 0,15 s.
Hoeveel tijd heeft de hele beweging geduurd (van het eerste tot het laatste vastgelegde moment)?



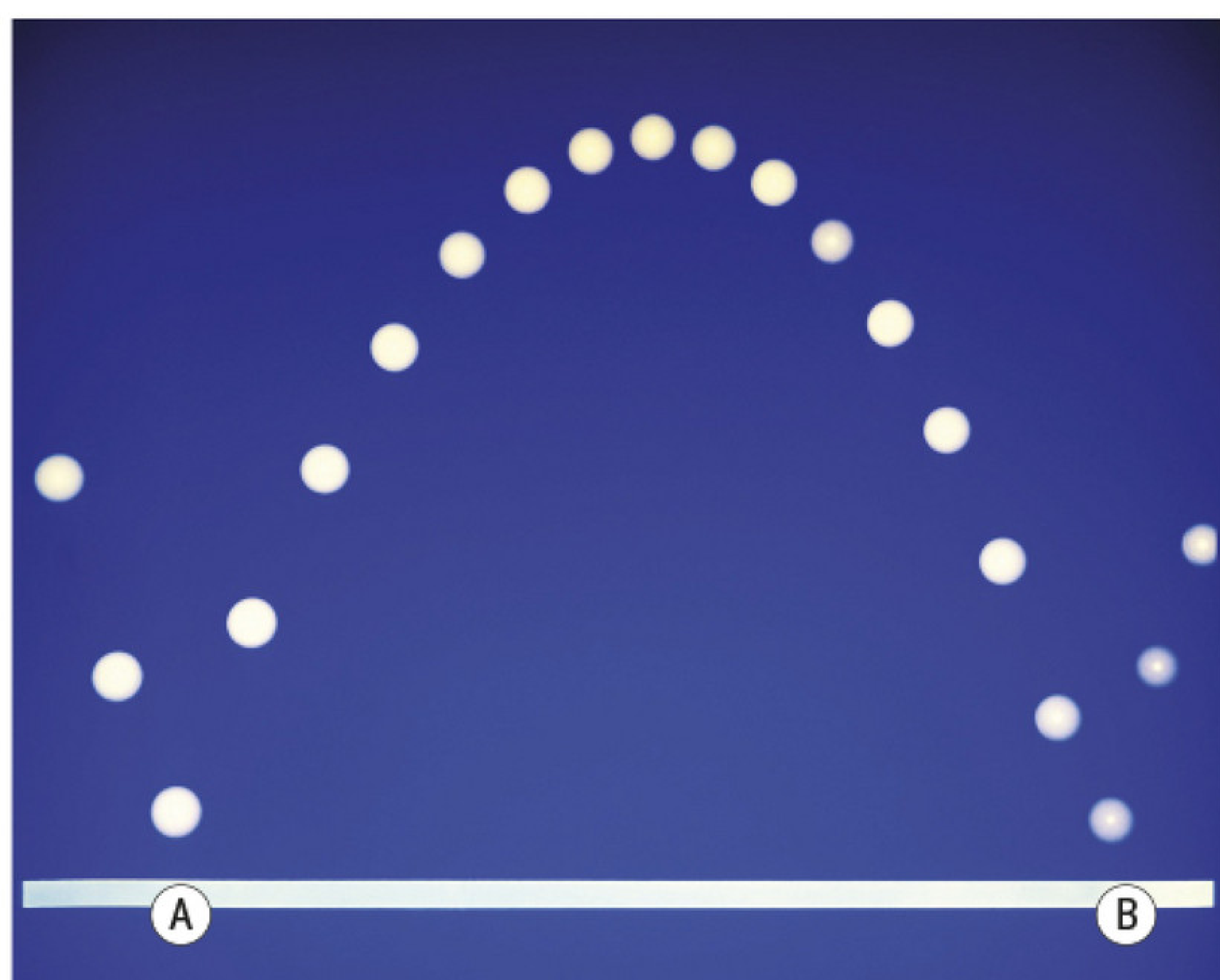
figuur 7 De beweging van een hoogspringer.

5 In figuur 8 zie je een stroboscopische foto van een stuiterende bal.

a Wanneer beweegt het balletje het snelst? Waaraan zie je dat?

b Wanneer beweegt het balletje het langzaamst? Waaraan zie je dat?

c Het balletje raakt bij A en B de grond. De tijd tussen twee opeenvolgende lichtflitsen is 0,05 s.
Hoeveel tijd zit tussen moment A en B?



figuur 8 Een stuiterende bal.

6 In figuur 9 zie je een stroboscopische foto van de beweging van een speelgoedauto. De tijd tussen twee opeenvolgende opnames is 0,2 s.

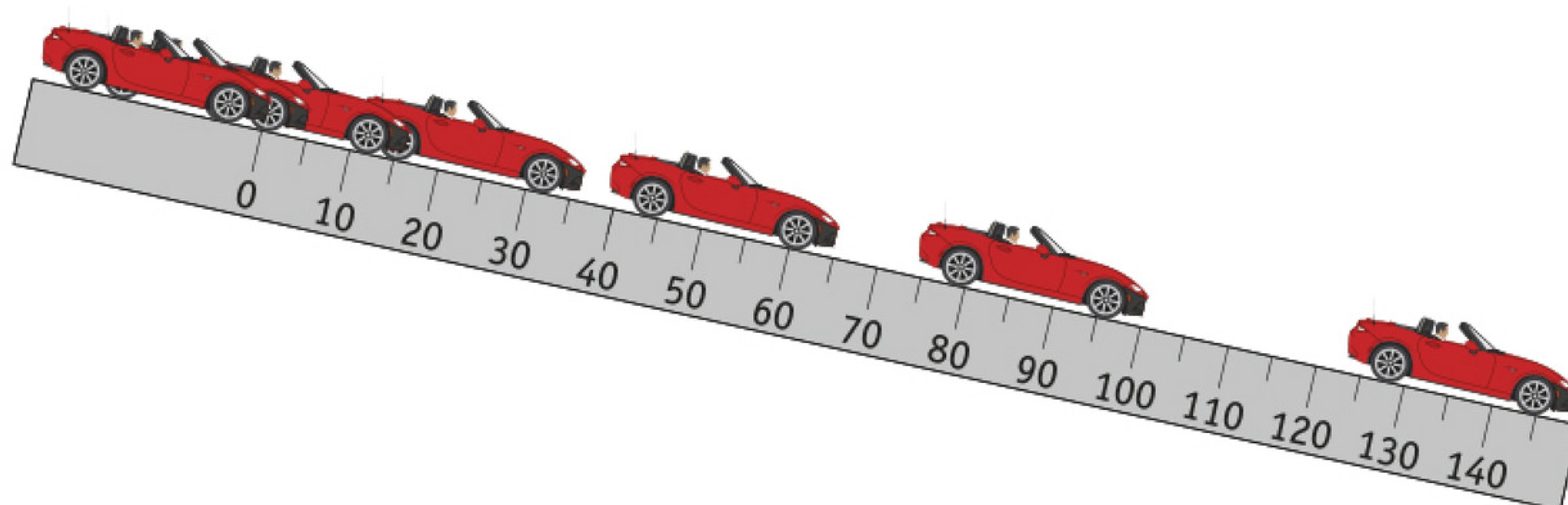
a Vul de plaats-tijdtabel (tabel 2) volledig in.

tabel 2 Een plaats-tijdtabel.

tijd (s)	plaats (cm)
0	0
0,2	

b Welke afstand legt de auto af tussen de tijdstippen t = 0,2 s en t = 1,0 s?

c Welke afstand legt de auto af tussen de tijdstippen t = 0,8 s en t = 1,2 s?



figuur 9 Een stroboscopische foto van een speelgoedauto.

★ 7

In figuur 10 zie je een videometing van een turnster die op een trampoline springt. In het diagram is de hoogte uitgezet tegen de tijd.

a Hoeveel hele sprongen zijn in dit voorbeeld gemeten?

b Vul in.

In het hoogst bereikte punt op tijdstip *t* = ... s noteer je voor de hoogte:

h = ... m.

In het laagst bereikte punt op tijdstip *t* = ... s noteer je voor de hoogte:

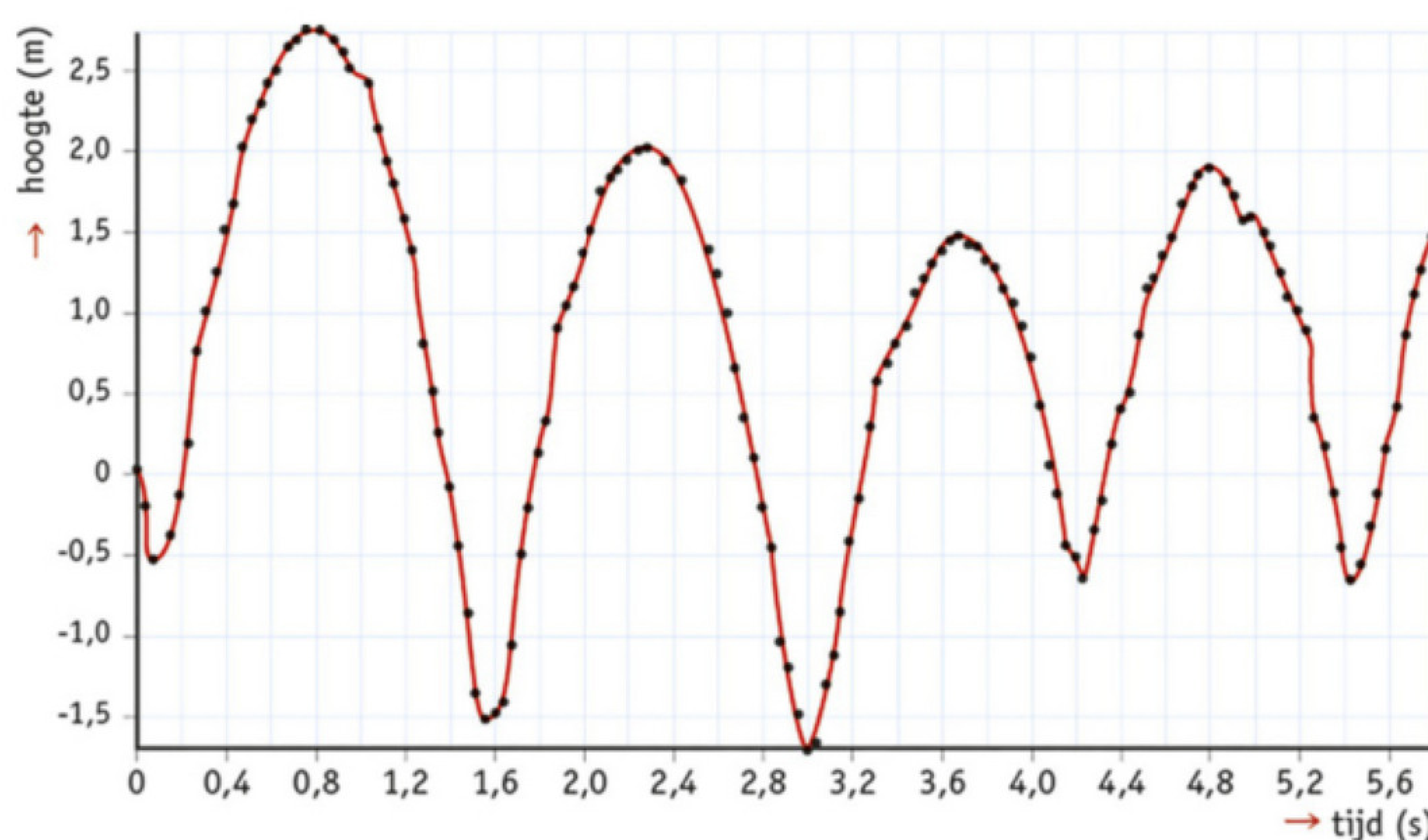
h = ... m.

c Op welke momenten beweegt de trampolinespringster het langzaamst?

d Op het tijdstip *t* = 3,7 s is de hoogte *h* = 1,5 m. Hoe groot is de afgelegde afstand (*s*) tussen de tijdstippen *t* = 3,0 s en *t* = 3,7 s?

figuur 10 Een videometing van een serie sprongen op een trampoline met het daarbij behorende diagram.





★ 8

In NEMO Science Museum in Amsterdam kun je een druppel laten ‘zweven’. Uit een kraantje valt met vaste tussenpozen een druppel. Je ziet de druppel in het licht van een stroboscooplamp. Als je aan de knop van de stroboscoop draait, zie je bij een bepaalde stand van de knop een ‘zwevende druppel’.
Leg uit hoe dat kan.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA FINISHFOTO'S

9 Een finishfoto wordt gemaakt met een speciale camera.
Vul in.

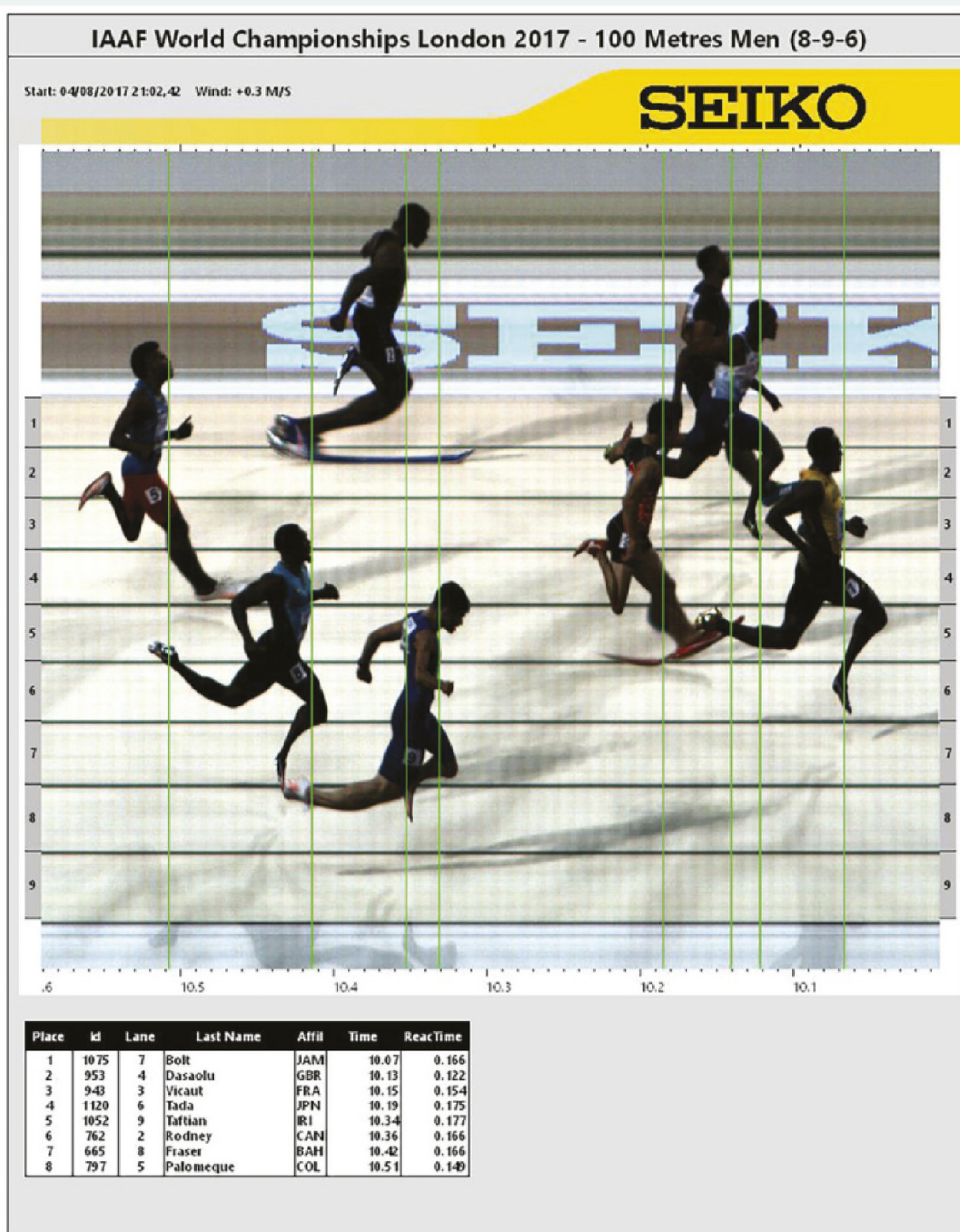
a Voor de lens van deze camera zit een scherm met daarin een .... spleet.

b Door die spleet is een smalle strook van de .... te zien, ter hoogte van de ....

c Als je één opname maakt, krijg je een smalle foto waar alleen de .... op staat.

d Een finishfoto bestaat uit een hele serie .... naast elkaar die elk een breedte hebben van ....

★ 10 In figuur 11 zie je een finishfoto van de 100 meter sprint voor mannen. Onder in beeld zie je de tijden van de atleten.



Place	Id	Lane	Last Name	Affil	Time	ReacTime
1	1075	7	Bolt	JAM	10.07	0.166
2	953	4	Dasaolu	GBR	10.13	0.122
3	943	3	Vicaut	FRA	10.15	0.154
4	1120	6	Tada	JPN	10.19	0.175
5	1052	9	Taftian	IRI	10.34	0.177
6	762	2	Rodney	CAN	10.36	0.166
7	665	8	Fraser	BAH	10.42	0.166
8	797	5	Palomeque	COL	10.51	0.149

figuur 11 De finishfoto van de finale van de 100 meter sprint (WK 2017).

a Waar in de foto lopen de renners met de snelste tijden? *links / rechts*
b Wat is de eindtijd van de winnaar?
c Naar welk lichaamsdeel wordt gekeken bij het bepalen van de eindtijd (en dus ook bij het aanwijzen van de winnaar)?
d De voet van de renner in baan 2 is op een rare manier uitgerekt.
Leg uit hoe dat komt.
e Hoeveel tijd zat er tussen de winnaar en de sprinter die als laatste finishte?
f Hoeveel centimeter afstand zit er op de foto tussen de winnaar en de laatste sprinter?
g Bereken met welk tijdsverschil een centimeter afstandsverschil op de foto overeenkomt.

2 Gemiddelde snelheid

LEERDOELEN

5.2.1 Je kunt rekenen met de formule voor (gemiddelde) snelheid.
5.2.2 Je kunt de gemiddelde snelheid berekenen aan de hand van een gegeven plaats-tijddiagram of (*x*,*t*)-diagram.
5.2.3 Je kunt snelheid in m/s omrekenen naar km/h en omgekeerd.
5.2.4 Je kunt een snelheid-tijddiagram of (*v*,*t*)-diagram aflezen.
5.2.5 Je kunt de gemiddelde snelheid berekenen als de snelheid regelmatig toeneemt.
EXTRA 5.2.6 Je kunt drie manieren uitleggen die de politie gebruikt om de snelheid van auto's te controleren.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	5.2.1	5.2.2	5.2.3	5.2.4	5.2.5	5.2.6
Onthouden	1ab, 3		2ab			15a
Begrijpen	4			13a		14ab, 16b
Toepassen	5a, 7ab, 8a, 9, 11, 13c	10ab, 12abc	6a		13b	15bc, 16a
Analyseren	5b, 6b, 8bc					

Een wielrenner die een etappe van 184 kilometer in 4 uur aflegt, heeft een gemiddelde snelheid van 46 kilometer per uur (km/h). Dat betekent natuurlijk niet dat zijn snelheid de hele tijd precies 46 km/h was. Maar als hij wel voortdurend 46 km/h gereden had, zou hij dezelfde afstand (184 km) in dezelfde tijd (4 uur) hebben afgelegd.

DE GEMIDDELDE SNELHEID BEREKENEN

De **gemiddelde snelheid** geeft je vaak een goede indruk van hoe snel iets of iemand beweegt. Je kunt de gemiddelde snelheid berekenen door de afgelegde afstand te delen door de benodigde tijd:

$$\text{gemiddelde snelheid} = \frac{\text{afgelegde afstand}}{\text{tijd}}$$

Of in symbolen:

$$v_{gem} = \frac{s}{t}$$

Hierin is:

- v_{gem} de gemiddelde snelheid in meter per seconde (m/s);
- s de afgelegde afstand in meter (m);
- t de tijd in seconde (s).

Als je de afgelegde afstand invult in kilometers en de tijd in uren, krijg je de gemiddelde snelheid in kilometer per uur (km/h).

VOORBEELDOPDRACHT 1

Een sprintster loopt de 100 meter in 10,83 s (figuur 1).
Bereken haar gemiddelde snelheid.

gegevens $s = 100$ m
$t = 10{,}83$ s

gevraagd $v_{gem} = ?$

uitwerking $v_{gem} = \frac{s}{t} = \frac{100}{10{,}83} = 9{,}23$ m/s



figuur 1 Atletes op topsnelheid tijdens de 100 meter.

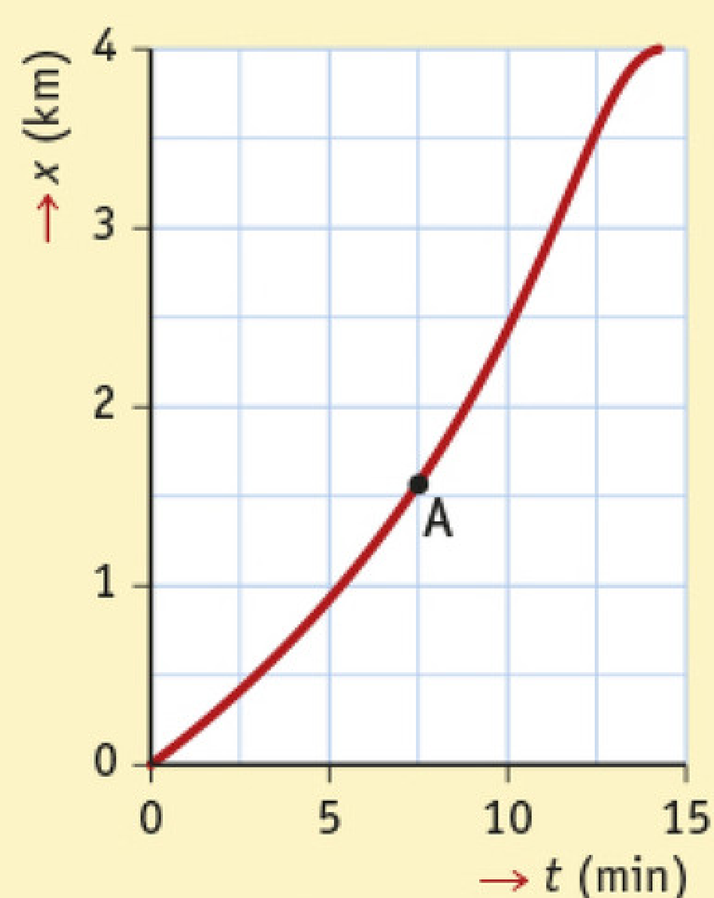
VOORBEELDOPDRACHT 2

Ben fietst iedere dag naar school. In figuur 2 zie je het plaats-tijddiagram van een van zijn fietstochten. Bij punt A in de grafiek zag Ben dat het al laat was en ging hij sneller fietsen.
Bereken de gemiddelde snelheid van Ben vanaf punt A tot zijn aankomst op school.

gegevens $s = 4{,}0 - 1{,}6 = 2{,}4$ km $= 2400$ m
$t = 14 - 7{,}5 = 6{,}5$ min $= 390$ s

gevraagd $v_{gem} = ?$

uitwerking $v_{gem} = \frac{s}{t} = \frac{2400}{390} = 6{,}15$ m/s



figuur 2 Het (x,t)-diagram van een fietsrit van huis naar school.

SNELHEID OMREKENEN

Vaak is het handig om snelheid te kunnen omrekenen van meter per seconde (m/s) naar kilometer per uur (km/h), en omgekeerd. Als je 6,15 m/s omrekent, kom je (afgerond) uit op een snelheid van 22,1 km/h. Dat zegt je waarschijnlijk meer dan 6,15 m/s, omdat je gewend bent om snelheden in km/h uit te drukken.

Om snelheid te kunnen omrekenen, moet je weten dat:
1 km = 1000 m
1 h = 3600 s

Bij een snelheid van 10 m/s redeneer je als volgt: als je in 1 seconde 10 meter aflegt, leg je (met dezelfde snelheid) in 1 uur 3600 × 10 meter af. Je kunt dus opschrijven:

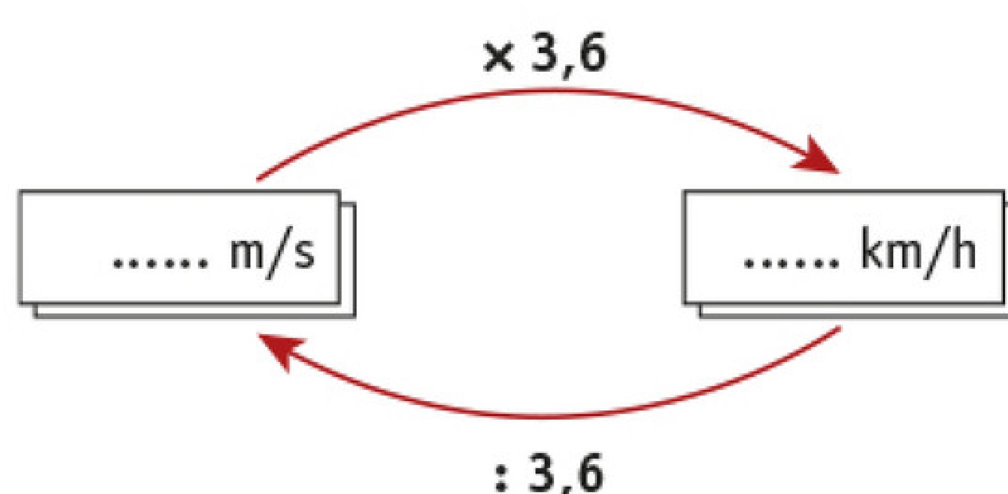
$$10 \text{ m/s} = \frac{3600 \times 10 \text{ m}}{3600 \times 1 \text{ s}} = \frac{36\ 000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{36 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 36 \text{ km/h}$$

Ga na dat vermenigvuldigen met 3,6 hetzelfde resultaat oplevert (figuur 3).

Omrekenen van km/h naar m/s gaat zo:

$$90 \text{ km/h} = \frac{90 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{90\ 000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 25 \text{ m/s}$$

Ga na dat dit overeenkomt met delen door 3,6.



figuur 3 Een schema om van m/s om te rekenen naar km/h – en omgekeerd.

AFSTAND EN TIJD BEREKENEN

Je kunt de formule:

$$v_{gem} = \frac{s}{t}$$

ook gebruiken om er de afstand of de tijd mee te berekenen. Het is handig om de formule dan op een andere manier op te schrijven, met de gevraagde grootheid voorop.

Als je de gemiddelde snelheid en de tijd kent, kun je de afgelegde afstand berekenen. Je schrijft de formule dan als:

$$s = v_{gem} \cdot t$$

Als de gemiddelde snelheid en de afgelegde afstand bekend zijn, kun je berekenen hoeveel tijd er voor de beweging nodig was. In dat geval schrijf je de formule als:

$$t = \frac{s}{v_{gem}}$$

VOORBEELDOPDRACHT 3

Als Annet een wandeltocht van 50 km maakt, ligt haar gemiddelde snelheid (rustpauzes meegerekend) op 4 km/h (figuur 4).
Bereken hoelang ze over deze tocht doet.

gegevens s = 50 km
v_{gem} = 4 km/h

gevraagd t = ?

uitwerking $t = \frac{s}{v_{gem}} = \frac{50}{4}$ = 12,5 uur



figuur 4 De tocht van 50 km zit er voor Annet bijna op.

SNELHEID-TIJDDIAGRAMMEN

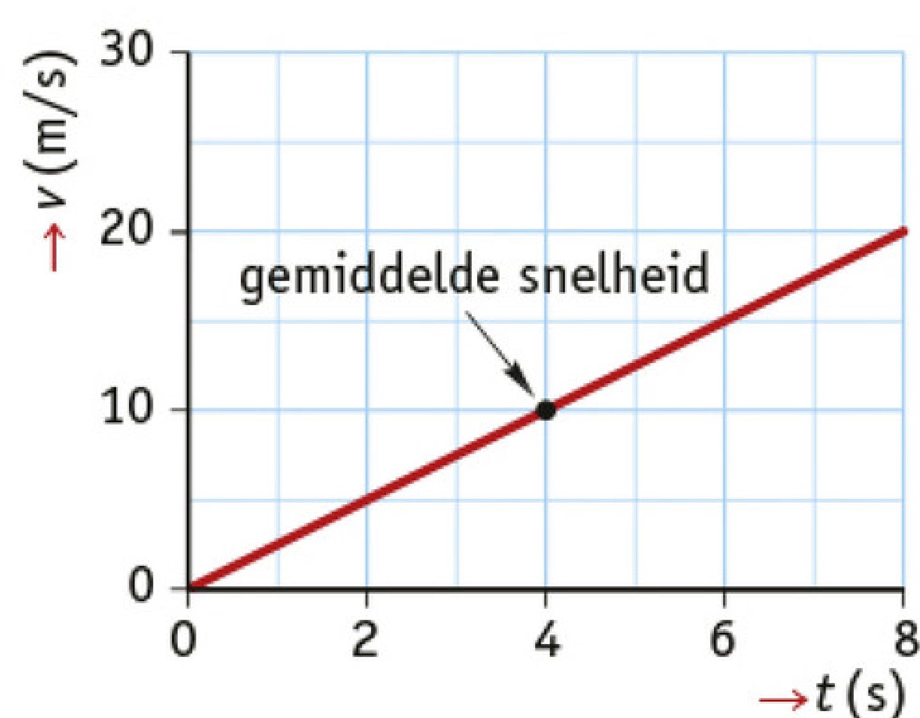
Je kunt een beweging vastleggen met een plaats-tijddiagram, maar dat kan ook met een **snelheid-tijddiagram** ofwel een **(*v*,*t*)-diagram**. In figuur 5 zie je het (*v*,*t*)-diagram van een auto die steeds sneller gaat rijden.
Je ziet dat de snelheid zeer regelmatig toeneemt: van 0 m/s op t = 0 s tot 20 m/s op t = 8 s. Met de grafiek kun je de gemiddelde snelheid eenvoudig vinden: dat is de snelheid die precies 'in het midden' ligt, dus in dit geval 10 m/s.
Als de snelheid regelmatig toeneemt, is de grafiek in het (*v*,*t*)-diagram een rechte lijn (figuur 5). Je kunt de gemiddelde snelheid dan berekenen met de volgende formule:

$$v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$$

Hierin is:

- v_{gem} de gemiddelde snelheid in meter per seconde (m/s);
- v_{begin} de snelheid aan het begin van de beweging in meter per seconde (m/s);
- v_{eind} de snelheid aan het eind van de beweging in meter per seconde (m/s).

In het voorbeeld is dat: $v_{gem} = \frac{0 + 20}{2} = 10$ m/s



figuur 5 Het (*v*,*t*)-diagram van de auto.

VOORBEELDOPDRACHT 4

De vader van Remco remt af voor een opdoemende file. In twintig seconden remt hij af van 30 m/s naar 5 m/s. In figuur 6 zie je het (*v*,*t*)-diagram.
Bepaal aan de hand van het diagram de afstand die Remco's vader heeft afgelegd tussen *t* = 0 s en *t* = 20 s.

gegevens $t = 20$ s
begin- en eindsnelheid aflezen in de grafiek: $v_{begin} = 30$ m/s en $v_{eind} = 5$ m/s.

gevraagd $s = ?$

uitwerking $v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2} = \frac{30 + 5}{2} = 17{,}5$ m/s

$s = v_{gem} \cdot t = 17{,}5 \times 20 = 350$ m



figuur 6 Afremmen voor een file.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA SNELHEIDSCONTROLES

Op alle wegen in Nederland gelden maximumsnelheden. Op veel snelwegen is dat maximaal 100 km/h en in dorpen en steden 50 km/h. De politie controleert de snelheid van auto's op drie manieren.

De eerste methode werkt met flitspalen langs de wegen (figuur 7). Het apparaat in die paal zendt radiogolven uit naar de voorbijrijdende auto's. Uit de teruggekaatste radiogolf kan het apparaat dan de snelheid van de auto berekenen.



figuur 7 Een flitspaal.

Bij de tweede methode gebruikt de politie een lasergun (figuur 8). Een laserstraal is een dunne, geconcentreerde lichtbundel met licht van maar één kleur. De lasergun zendt voortdurend korte laserpulsen uit, die door een passerende auto kunnen worden gereflecteerd. De lasergun meet de tijd tussen het uitzenden en het ontvangen van een puls. Met behulp van die tijd en de snelheid van het licht berekent de lasergun hoe ver de auto verwijderd was van de agent. Door bij de volgende puls deze meting te herhalen weet de lasergun de nieuwe afstand en kan hij de snelheid van de auto uitrekenen.



figuur 8 Een lasergun.

Bij een trajectcontrole wordt niet de snelheid op een bepaald moment, maar de gemiddelde snelheid over een bepaalde afstand gemeten. Over een afstand van een paar kilometer meten twee camera's, met behulp van nummerbordherkenning, het tijdstip waarop de auto passeert. Met behulp van het tijdsverschil en de afstand tussen de camera's berekent een computer of de gemiddelde snelheid van de auto niet te hoog is.

1 Bij wielerwedstrijden wordt vaak de gemiddelde snelheid berekend van de winnaar en van het peloton.

a Welke gegevens heb je nodig om de gemiddelde snelheid te kunnen berekenen?

b Met welke formule (in symbolen) kun je daarna de gemiddelde snelheid berekenen?

2 Je kunt de gemiddelde snelheid aangeven in m/s of in km/h.

a Hoe kun je een snelheid in m/s snel omrekenen naar km/h?

b Hoe kun je een snelheid in km/h snel omrekenen naar m/s?

3 Als je de gemiddelde snelheid en de tijd kent, kun je de afgelegde afstand berekenen. Welke formule gebruik je daarvoor?

4 In tabel 1 staan de gegevens van vijf bewegingen. Vul de ontbrekende gegevens in de tabel in.

tabel 1 Afstand, tijd en gemiddelde snelheid.

afstand	tijd	gemiddelde snelheid
45 km	45 min	.... km/h
4,5 km	80 min	.... m/s
200 m	.... s	9,0 m/s
.... km	2 h	85 km/h
20 km	.... min	90 km/h

5 De familie De Ruiter gaat met de auto op vakantie. De afstand tussen hun woonplaats Drachten en hun vakantieadres in Confolens (Midden-Frankrijk) is 1100 km. Ze gaan om 04.00 uur ’s ochtends weg en komen om 17.00 uur ’s middags aan.

a Bereken de gemiddelde snelheid in km/h.

b De auto rijdt gedurende het grootste deel van de reis sneller dan 120 km/h. Toch is de gemiddelde snelheid een stuk lager.
Waaraan zou dat liggen?

6 Bij de wereldkampioenschappen atletiek junioren van 2018 rende de Amerikaan Eric Harrison de 100 meter in 10,39 s en de 200 meter in 20,73 s.

a Bereken voor elke afstand de gemiddelde snelheid in m/s en in km/h.
Schrijf de volledige berekening op.

b De gemiddelde snelheid is bij de 200 meter groter dan bij de 100 meter.
Geef daarvoor een verklaring.

7 Lars gaat een fietstocht maken. Omdat hij een fietscomputer heeft, weet hij dat zijn gemiddelde snelheid bij zo’n tocht 18 km/h is.

a Lars heeft een route door het bos uitgestippeld van Arnhem naar Harderwijk. De route is 63 km.
Bereken hoelang hij over die afstand zal doen.

b Een dag later wil Lars nog een tocht maken. Hij wil niet langer dan zes uur onderweg zijn.
Bereken welke afstand Lars hoogstens kan afleggen in die zes uur, als zijn gemiddelde snelheid 18 km/h is.

8 Een deelnemer aan de triatlon legt de 3,8 km zwemmen af in 2 uur, de 180 km fietsen in 5 uur en de 42,2 km marathon in 3 uur.

a Bereken de gemiddelde snelheid voor elk van de drie onderdelen afzonderlijk (in km/h).

b Bereken de gemiddelde snelheid voor de hele triatlon.

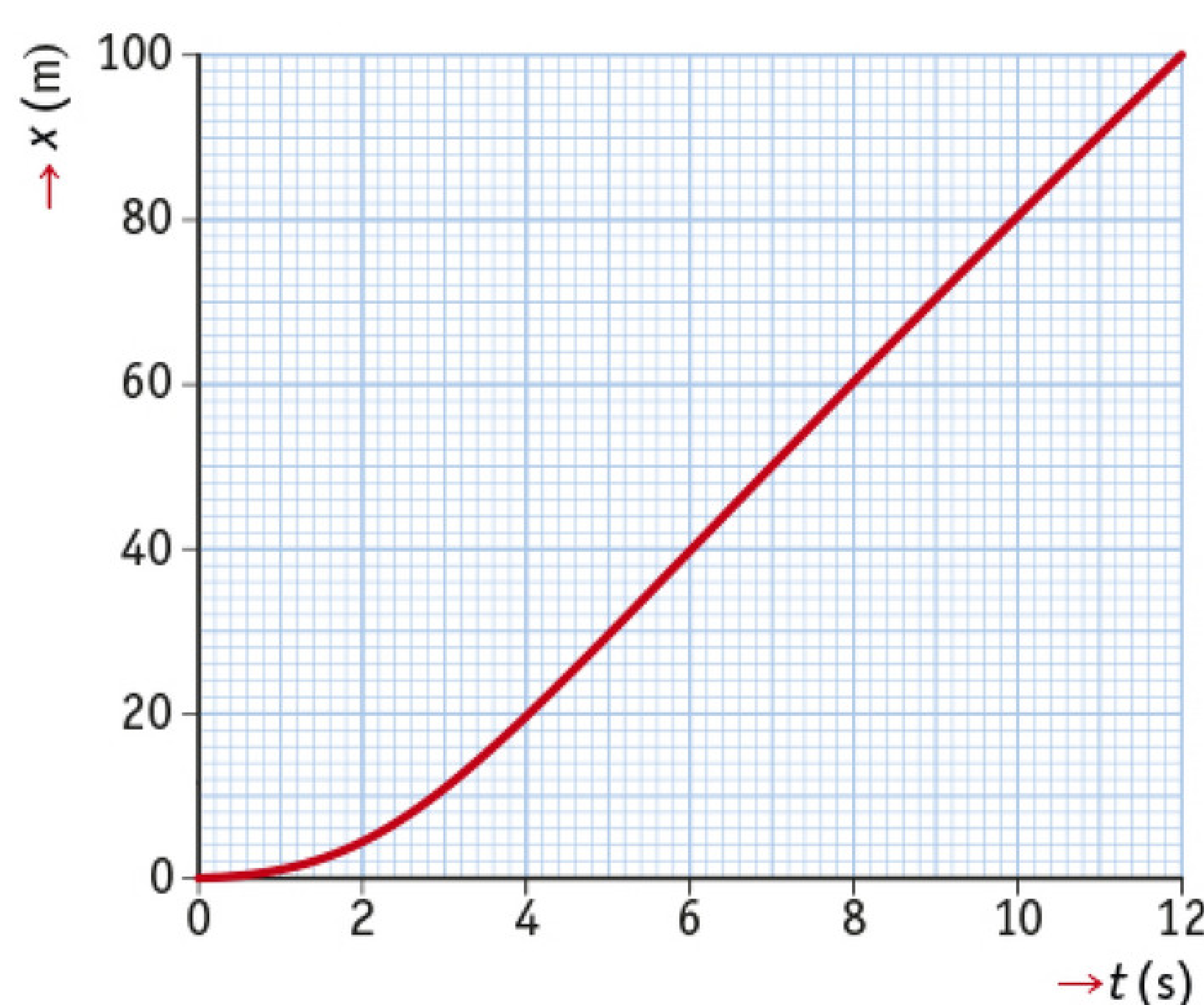
c Leg uit waarom het antwoord bij opdracht 8b niet gelijk is aan het gemiddelde van de drie antwoorden bij opdracht 8a.

9 Bilal nadert met de auto een stoplicht met een snelheid van 50 km/h. Als hij 300 m van het stoplicht af is, ziet hij het licht op groen springen. Hij weet dat het licht 20 s op groen blijft staan.
Bereken of hij het groene licht kan halen zonder de maximumsnelheid van 50 km/h te overschrijden.

★ 10 In figuur 9 zie je het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter op de 100 meter.

a Bereken de gemiddelde snelheid van de sprinter in km/h over de hele race.

b Gedurende het grootste deel van de tijd had de atleet een constante snelheid. Bepaal de grootte van die snelheid in km/h.



figuur 9 Het (*x*,*t*)-diagram van een sprinter.

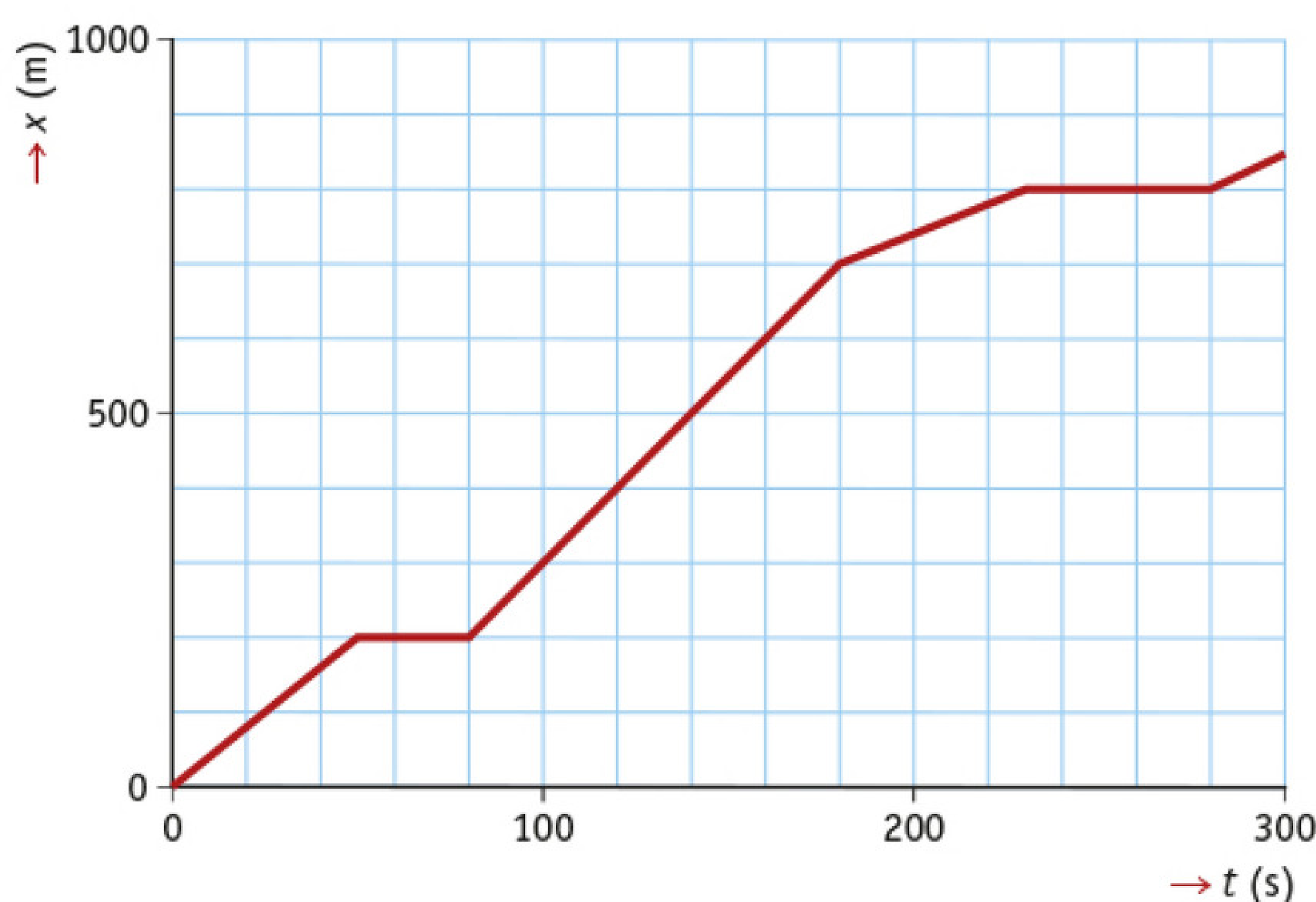
11 Tijdens een schaatsmarathon heeft een schaatser een gemiddelde snelheid van 45 km/h. Elk rondje is 400 m.
Hoeveel rondjes kan de schaatser in 2,0 uur rijden?

12 In figuur 10 zie je een (*x*,*t*)-diagram van een fietstocht.

a Bereken de gemiddelde snelheid over de hele tocht in km/h.

b Tussen welke twee tijdstippen was de snelheid het grootst?

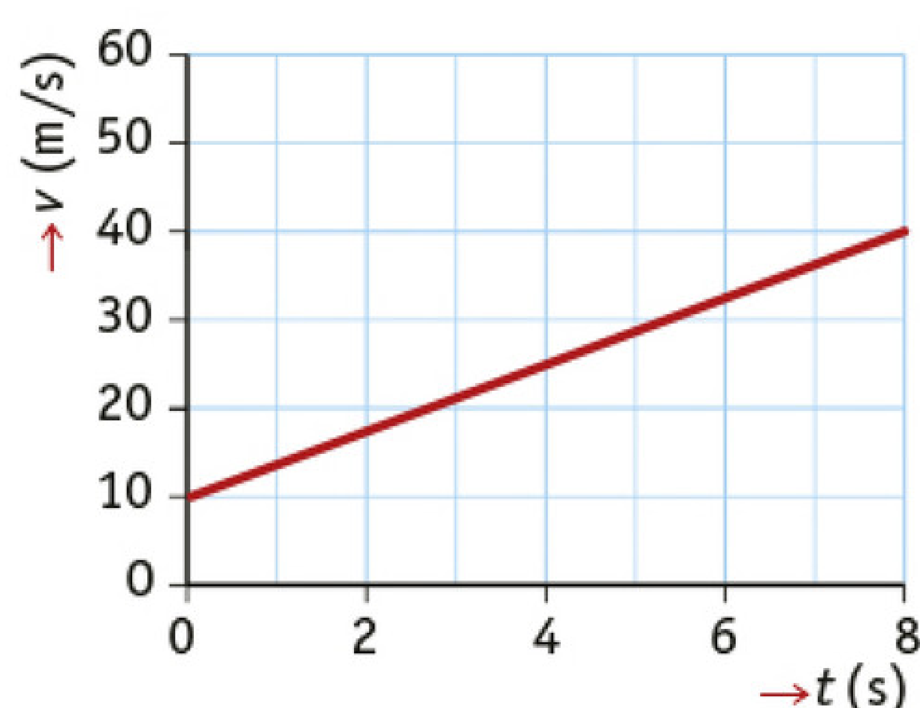
c Bereken deze grootste snelheid.



figuur 10 Het (*x*,*t*)-diagram van een fietstocht door de heuvels.

13 In figuur 11 zie je het (v,t)-diagram van een auto.

a Hoe kun je uit zo'n diagram de gemiddelde snelheid van de auto aflezen?
b Bereken de gemiddelde snelheid met een formule.
c Bereken hoeveel meter de auto heeft afgelegd tussen 0 en 8 s.



figuur 11 Het (v,t)-diagram van een auto.

 Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA SNELHEIDSCONTROLES

14 Flitspalen en laserguns hebben het nadeel dat automobilisten soms sterk afremmen als ze er een zien.

a Leg uit waarom dat gevaarlijke situaties kan opleveren.
b Leg uit waarom het even kort afremmen bij een trajectcontrole geen zin heeft.

15 Een politieman controleert met een lasergun de snelheid van een passerende auto.

a Leg uit hoe deze methode werkt.
b De laserpulsen verplaatsen zich met de lichtsnelheid: 300 000 km/s. Bij een snelheidsmeting van een auto is de tijd tussen het uitzenden en het ontvangen van een enkele puls 0,000 000 20 s. Bereken hoever de auto verwijderd was van de lasergun.
c Stel dat de volgende puls 0,15 s later wordt uitgezonden. Met behulp van deze nieuwe meting heeft de lasergun berekend dat de auto 2,5 m verder is gereden.
Bereken de snelheid van de auto in km/h.

16 Twee camera's hangen 2,5 km uit elkaar boven een snelweg. Na zeven uur 's avonds doet een auto er 1,3 minuten over om van camera A naar camera B te rijden.

a Bereken de gemiddelde snelheid van de auto op het traject in km/h.
b De automobilist krijgt geen boete voor te hard rijden, maar heeft misschien toch ergens op het traject te hard gereden.
Leg uit hoe het kan dat een automobilist ergens tussen camera A en B te hard rijdt en toch geen boete krijgt.

3 Versneld – eenparig – vertraagd

LEERDOELEN

5.3.1 Je kunt uitleggen wat er gebeurt met de snelheid bij een eenparige, versnelde en vertraagde beweging.

5.3.2 Je kunt de snelheid op elk moment van de beweging berekenen bij een eenparige beweging.

5.3.3 Je kunt het (*x*,*t*)-diagram en het (*v*,*t*)-diagram van een eenparige, versnelde en vertraagde beweging herkennen.

5.3.4 Je kunt het (*x*,*t*)-diagram en het (*v*,*t*)-diagram van een eenparige, versnelde en vertraagde beweging aflezen.

5.3.5 Je kunt met een (*x*,*t*)-diagram nagaan wanneer twee weggebruikers elkaar passeren.

EXTRA 5.3.6 Je kunt beschrijven wat een *rejected take-off* is.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN					
	5.3.1	5.3.2	5.3.3	5.3.4	5.3.5	5.3.6	5.2.1*
Onthouden	1abc, 2c		2ab, 3				
Begrijpen	4abcd, 5a		6acdfg, 7a, 8ab	9ab, 10a	10ef, 11bc	13a	
Toepassen		10c	6be, 10b	9cd	8c, 10d	12b, 13bc	5b, 7b
Analyseren					11a	12a	8c

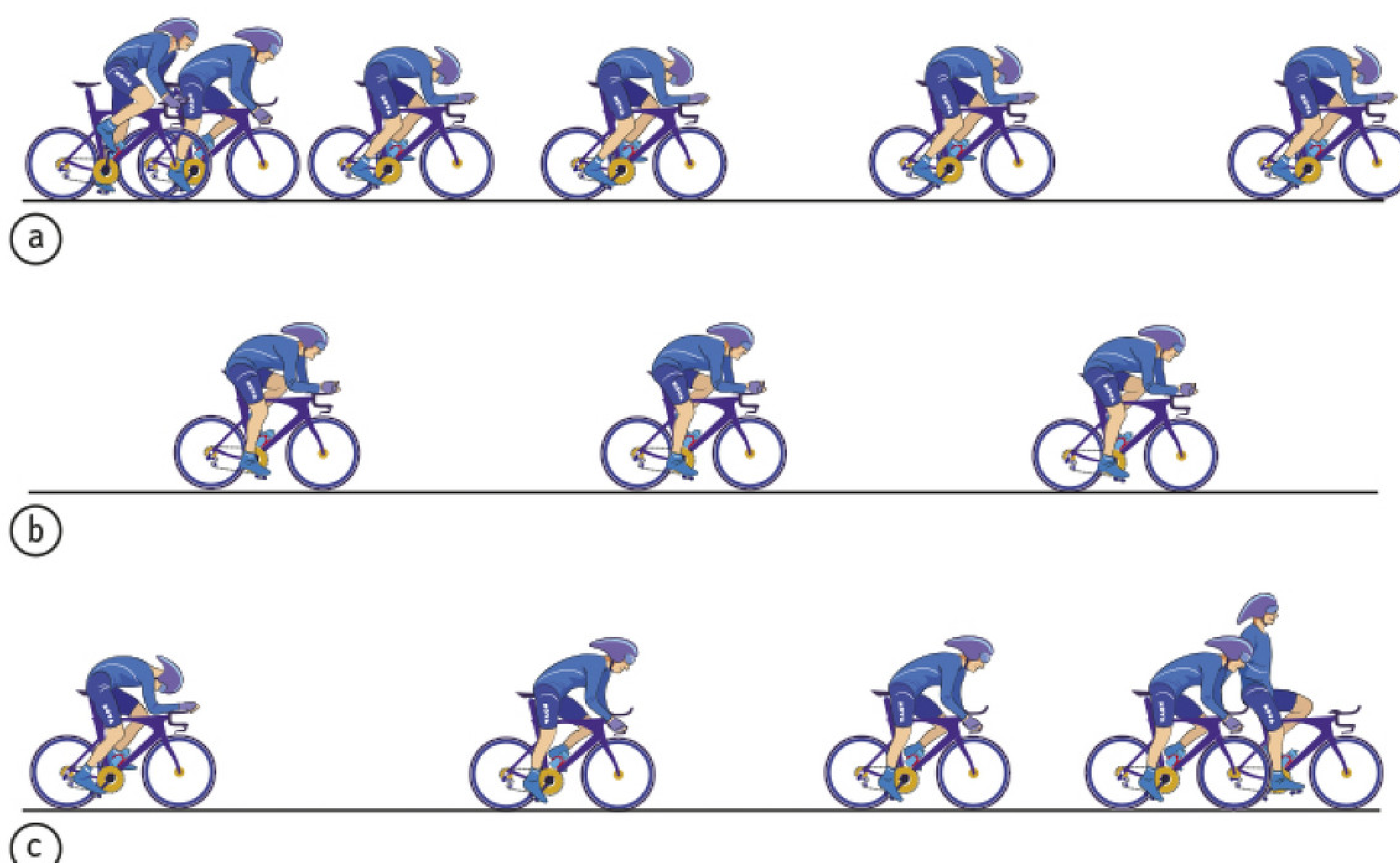
* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

Natuurkundigen delen bewegingen in verschillende soorten in. Daarbij kijken ze het eerst naar de snelheid: wordt de snelheid steeds groter, blijft zij de hele tijd gelijk of neemt zij steeds verder af? Of zoals een automobilist zou zeggen: is het optrekken, doorrijden of afremmen?

VAN SNELHEID VERANDEREN

PROEF 3 Bij veel sportwedstrijden verandert de snelheid tijdens de wedstrijd. In figuur 1 zijn als voorbeeld stroboscopische opnames weergegeven van drie momenten uit een tijdrit van de Tour de France.

- In figuur 1a gaat de wielrenner van start. Hij probeert vanuit stilstand zo vlug mogelijk op snelheid te komen. Zo'n beweging waarvan de snelheid steeds groter wordt, noem je een **versnelde beweging**.
- In figuur 1b rijdt de wielrenner met een constante snelheid over een vlakke weg. De wielrenner legt elke seconde hetzelfde aantal meters af. Je noemt dit een **eenparige beweging**.
- In figuur 1c remt de wielrenner af nadat hij de finish is gepasseerd. Daarbij neemt zijn snelheid snel af. Een beweging waarvan de snelheid steeds kleiner wordt, noem je een **vertraagde beweging**.



figuur 1 Een tijdrit: de wielrenner beweegt achtereenvolgens versneld, eenparig en vertraagd.

DE EENPARIGE BEWEGING

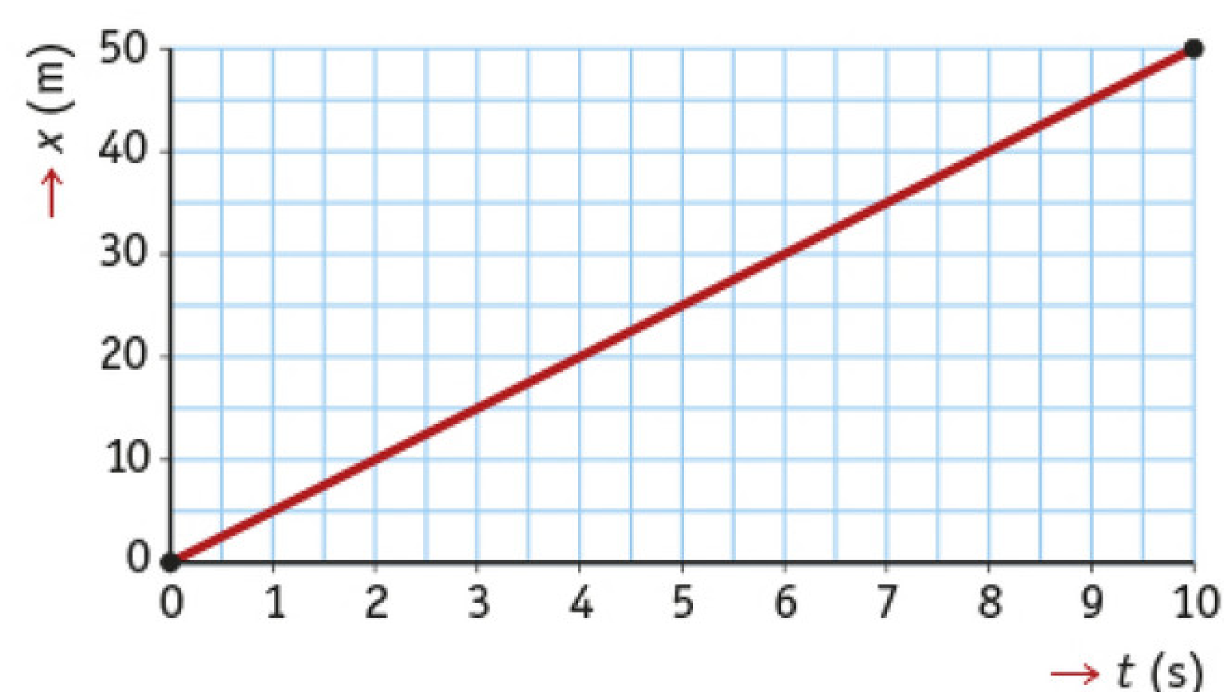
Bij een eenparige beweging verandert de snelheid niet: die blijft de hele tijd constant. Als je de gemiddelde snelheid kent, weet je meteen hoe groot de snelheid op elk moment van de beweging was. Bij een eenparige beweging geldt dus:

$$v = v_{gem} = \frac{s}{t}$$

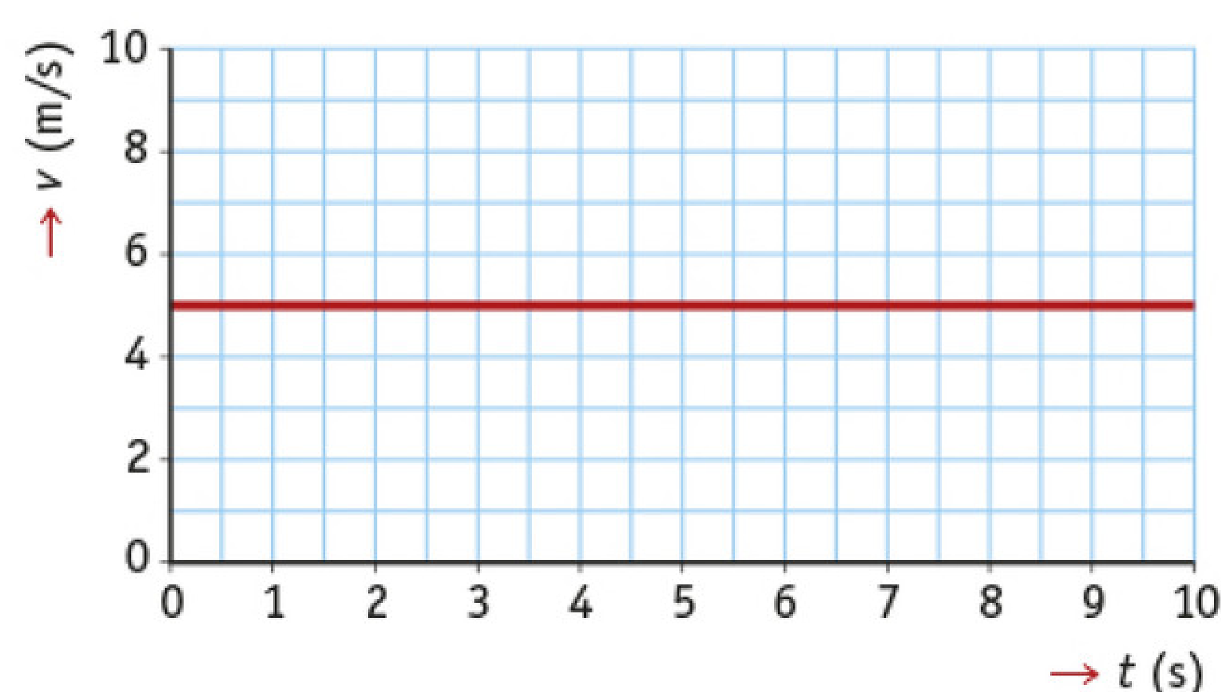
Hierin is:

- v de snelheid in meter per seconde (m/s);
- v_{gem} de gemiddelde snelheid in meter per seconde (m/s);
- s de afgelegde afstand in meter (m);
- t de tijd in seconde (s).

In figuur 2 is het (x,t)-diagram getekend van een fietser die met een constante snelheid van 5,0 m/s fietst. Een eenparige beweging herken je in een (x,t)-diagram aan een rechte lijn. In figuur 3 is het (v,t)-diagram van deze fietser getekend. Ook in een (v,t)-diagram wordt een eenparige beweging weergegeven door een rechte lijn, maar nu loopt de lijn horizontaal. De snelheid verandert immers niet.



figuur 2 Het (x,t)-diagram van een eenparige beweging.



figuur 3 Het (v,t)-diagram van een eenparige beweging.

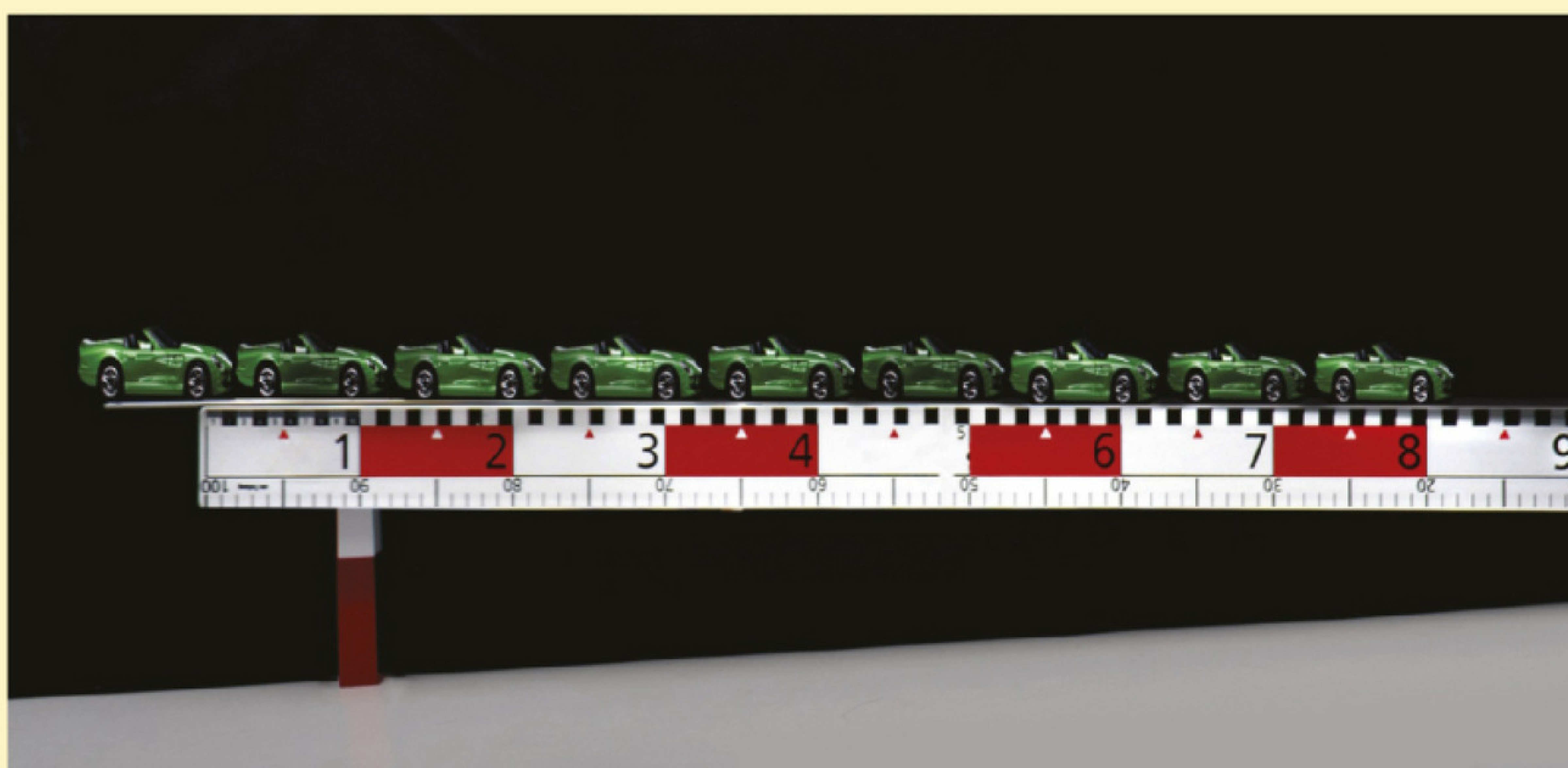
VOORBEELDOPDRACHT 1

Heleen heeft een stroboscopische foto gemaakt van een speelgoedauto die eenparig beweegt (figuur 4). De tijd tussen twee lichtflitsen is 0,4 s.
Bereken de snelheid van de auto.

gegevens $t = 8 \times 0{,}4 = 3{,}2$ s
$s = 82 - 2 = 80$ cm

gevraagd $v = ?$

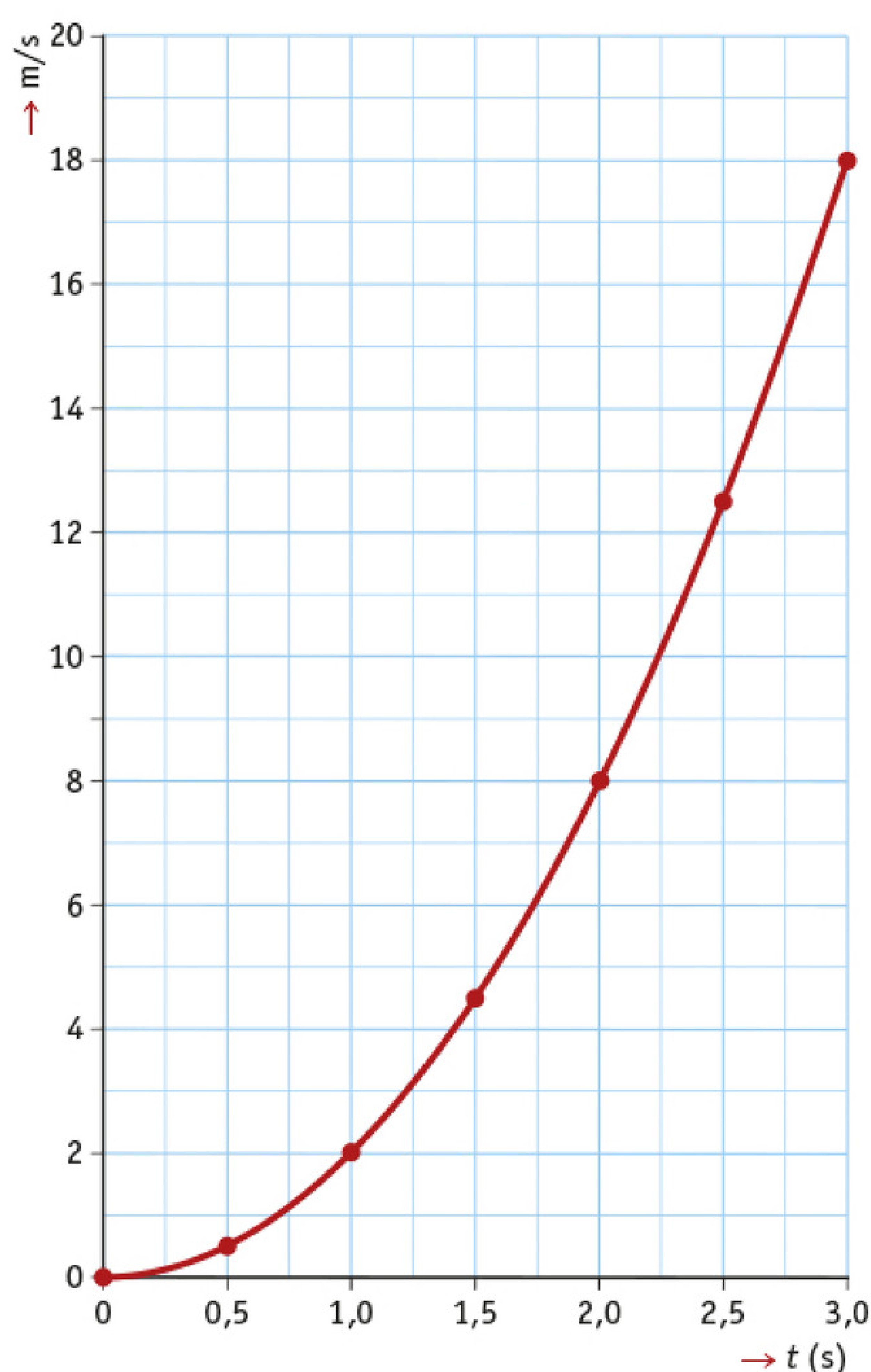
uitwerking $v = \frac{s}{t} = \frac{80}{3{,}2} = 25$ cm/s $= 0{,}25$ m/s



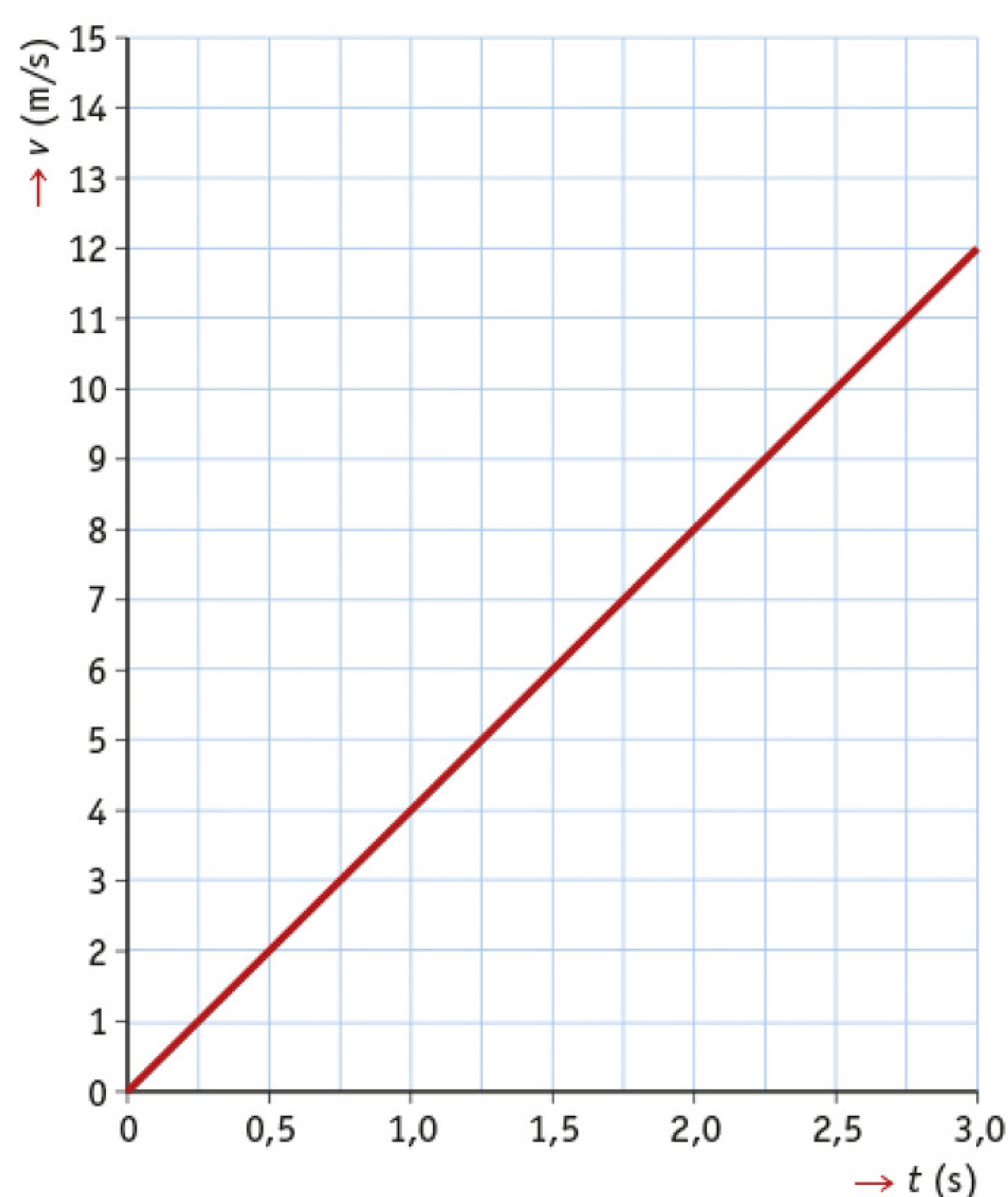
figuur 4 Een stroboscopische foto van een speelgoedauto.

VERSNELDE EN VERTRAAGDE BEWEGINGEN

Als een voorwerp versneld beweegt, legt het in dezelfde tijd een steeds grotere afstand af. Dat kun je zien op een stroboscopische foto van zo'n beweging: de afstand tussen de opeenvolgende beeldjes wordt steeds groter. Als je het (x,t)-diagram van zo'n beweging tekent, krijg je een gebogen lijn die steeds steiler omhoogloopt (figuur 5). In figuur 6 is het (v,t)-diagram van deze beweging getekend. Het is een rechte lijn die schuin naar boven loopt. De snelheid neemt namelijk toe.

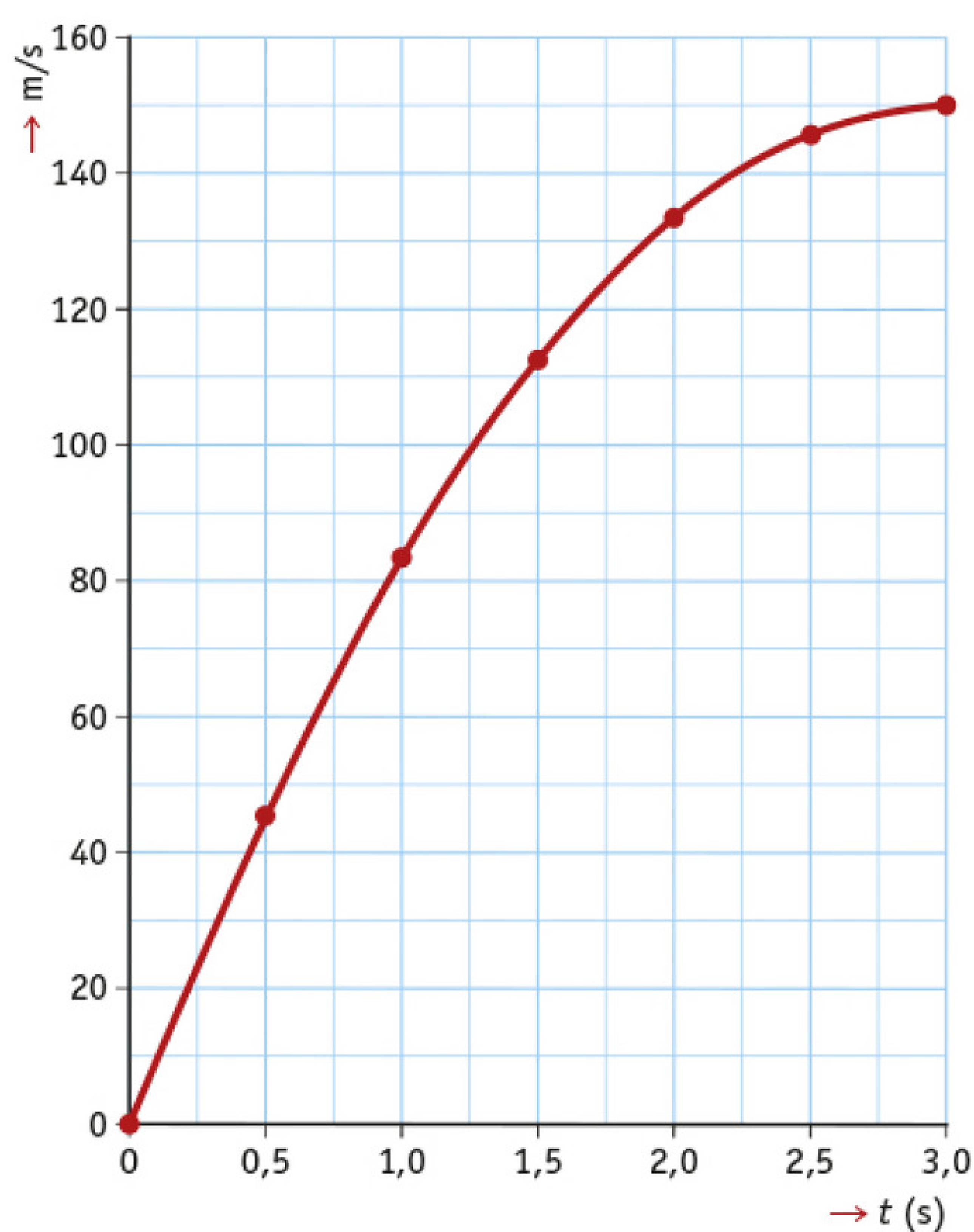


figuur 5 Het (*x*,*t*)-diagram van een versnelde beweging.

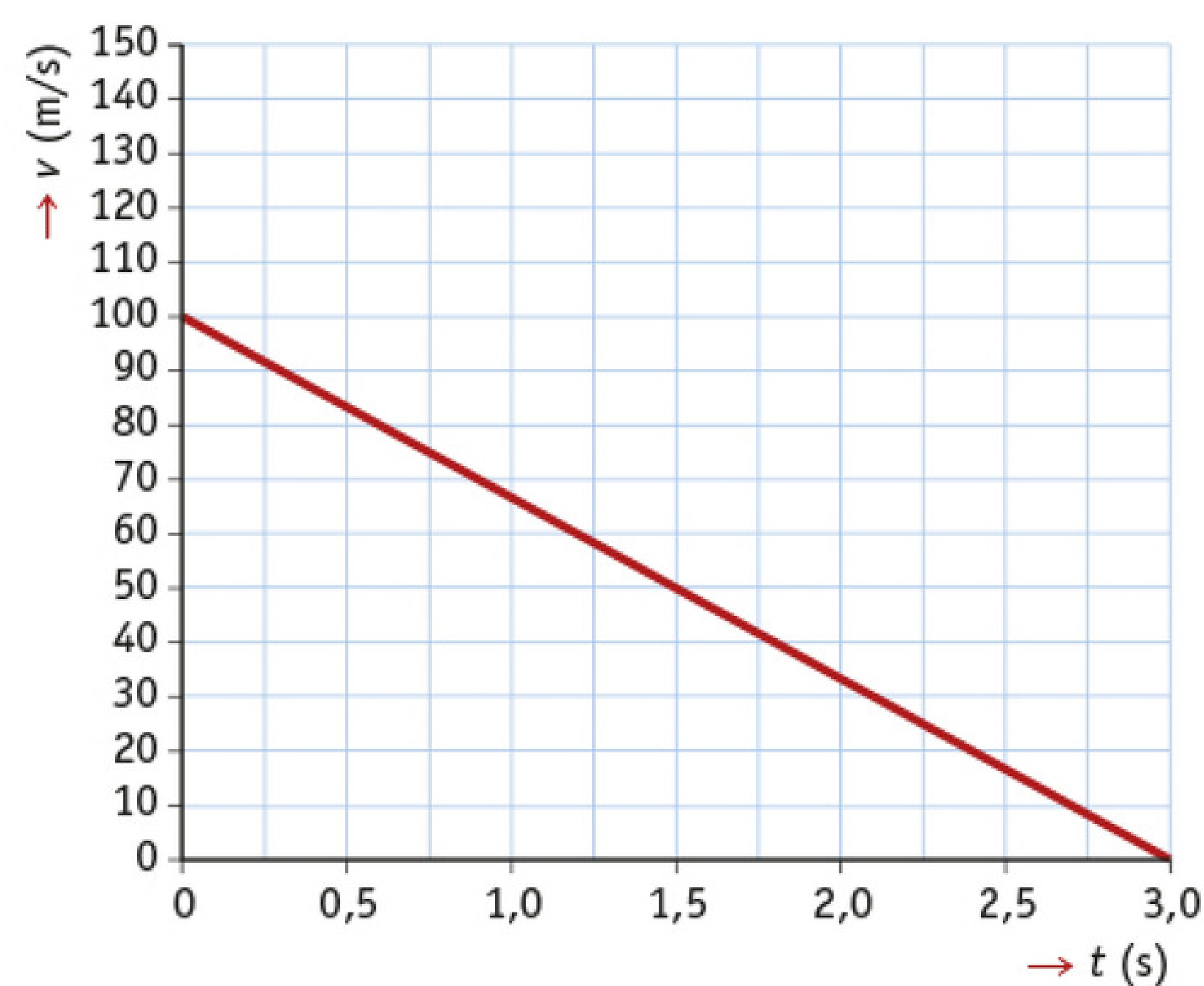


figuur 6 Het (*v*,*t*)-diagram van een versnelde beweging.

In figuur 7 is het (*x*,*t*)-diagram getekend van een vertraagde beweging. Bij zo'n beweging zie je het omgekeerde van een versnelde beweging: de afstand die het voorwerp in een bepaalde tijd aflegt, wordt steeds kleiner. Je kunt dat ook zien in het (*x*,*t*)-diagram: de grafiek is een gebogen lijn die steeds minder steil omhoogloopt. In figuur 8 is het (*v*,*t*)-diagram van deze beweging getekend. Het is een rechte lijn die schuin naar beneden loopt. De snelheid neemt namelijk af.



figuur 7 Het (*x*,*t*)-diagram van een vertraagde beweging.



figuur 8 Het (*v*,*t*)-diagram van een vertraagde beweging.

SNELHEID-TIJDDIAGRAMMEN

Aan een (v,t)-diagram zie je snel met welke soort beweging je te maken hebt. Als de grafiek stijgt, is er een versnelling en als hij daalt, is er een vertraging. Als de snelheid gelijkmatig toeneemt met de tijd, dan is de grafiek een rechte lijn die schuin omhoogloopt (figuur 6). De beweging wordt dan **eenparig versneld** genoemd. Bij een eenparige beweging hoort een horizontale grafiek (figuur 3). Als de snelheid gelijkmatig afneemt, heet de beweging **eenparig vertraagd** (figuur 8).

TEGENKOMEN EN INHALEN

Op de meeste wegen heb je verkeer in twee richtingen. Regelmatig kom je iemand tegen die de andere kant op rijdt. Ook word je af en toe door iemand ingehaald. Soms is het handig om dit soort bewegingen in één (x,t)-diagram te tekenen. Op die manier kun je erachter komen waar en wanneer twee weggebruikers elkaar passeren.

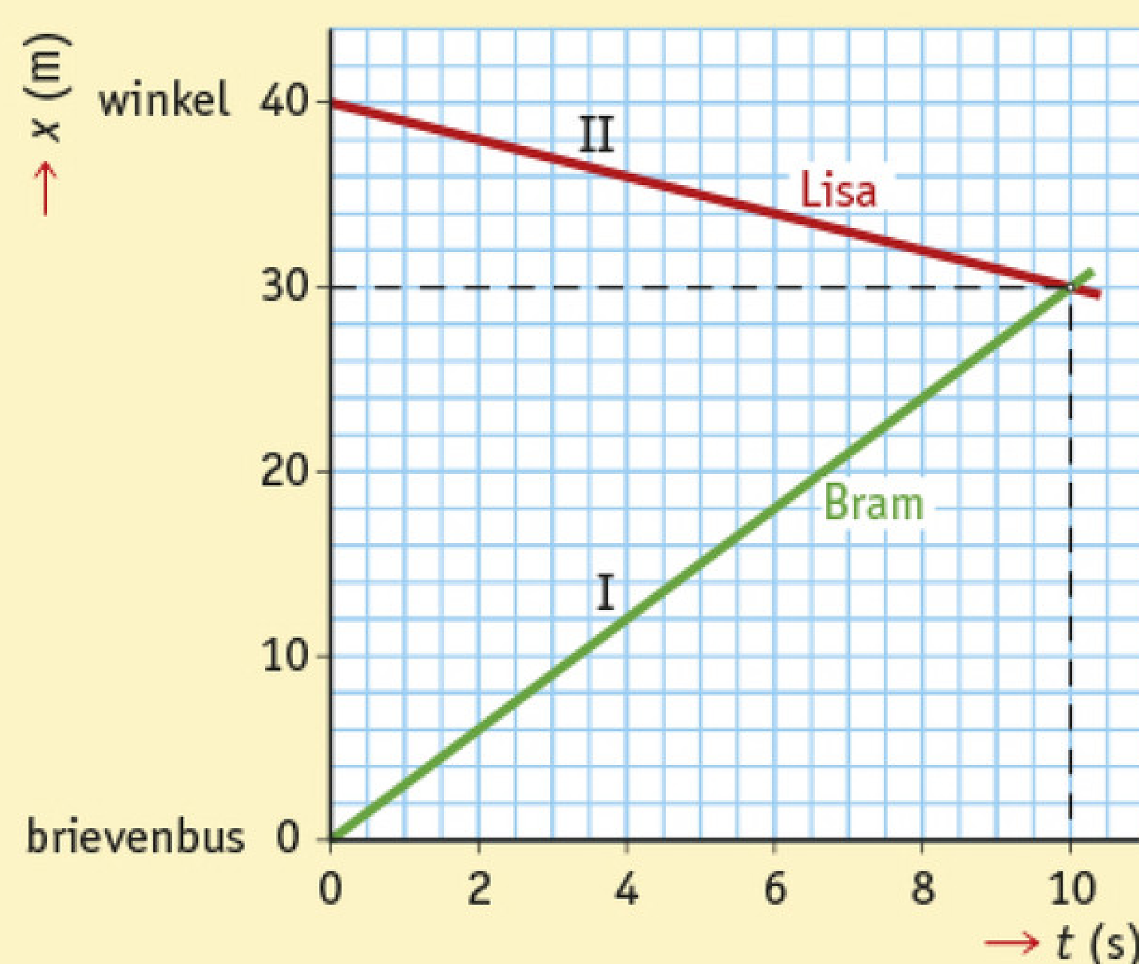
VOORBEELDOPDRACHT 2

Bram vertrekt op zijn fiets op t = 0 s vanaf de brievenbus voor zijn huis richting de winkel 40 m verderop. Zijn snelheid is 3,0 m/s. Op hetzelfde moment vertrekt Lisa lopend vanuit de winkel richting Bram (figuur 9). Haar snelheid bedraagt 1,0 m/s. Bepaal waar en wanneer ze elkaar ontmoeten.

Lisa en Bram bewegen allebei langs dezelfde weg. In het (x,t)-diagram van figuur 10 zijn hun bewegingen ingetekend. Grafiek I geeft de beweging van Bram weer. Deze begint bij 0 m. Grafiek II geeft de beweging van Lisa weer. Deze begint op 40 m. Het snijpunt van de twee grafieken heeft als coördinaten t = 10 s en x = 30 m. Lisa en Bram ontmoeten elkaar dus op 30 m van de brievenbus op het tijdstip t = 10 s.



figuur 9 Waar ontmoeten Lisa en Bram elkaar?



figuur 10 Het (x,t)-diagram van de ontmoeting.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA *REJECTED TAKE-OFF*

Een vliegtuig moet in korte tijd een snelheid van ongeveer 250 km/h behalen om op te kunnen stijgen (figuur 11). Gelukkig gaat het vertrek van een vliegtuig van de startbaan bijna altijd goed. Heel soms besluit de bemanning van de cockpit tijdens het starten om het vertrek van het vliegtuig af te breken, in het Engels een *rejected take-off*.

Dit doen ze bijvoorbeeld omdat een van de motoren hapert of omdat ze een ander technisch mankement opmerken. De piloten moeten dan heel snel besluiten of ze toch zullen proberen het vliegtuig te laten opstijgen. Proberen ze dat niet, dan moet de start, bij hoge snelheid, worden afgebroken. Dat laatste is niet zonder risico's. Door de hoge snelheid legt het vliegtuig nog vele honderden meters af, zelfs als het maximaal remt. De landingsbaan kan dan te kort zijn.



figuur 11 Een vliegtuig op de startbaan.

1 Hoe noem je een beweging:

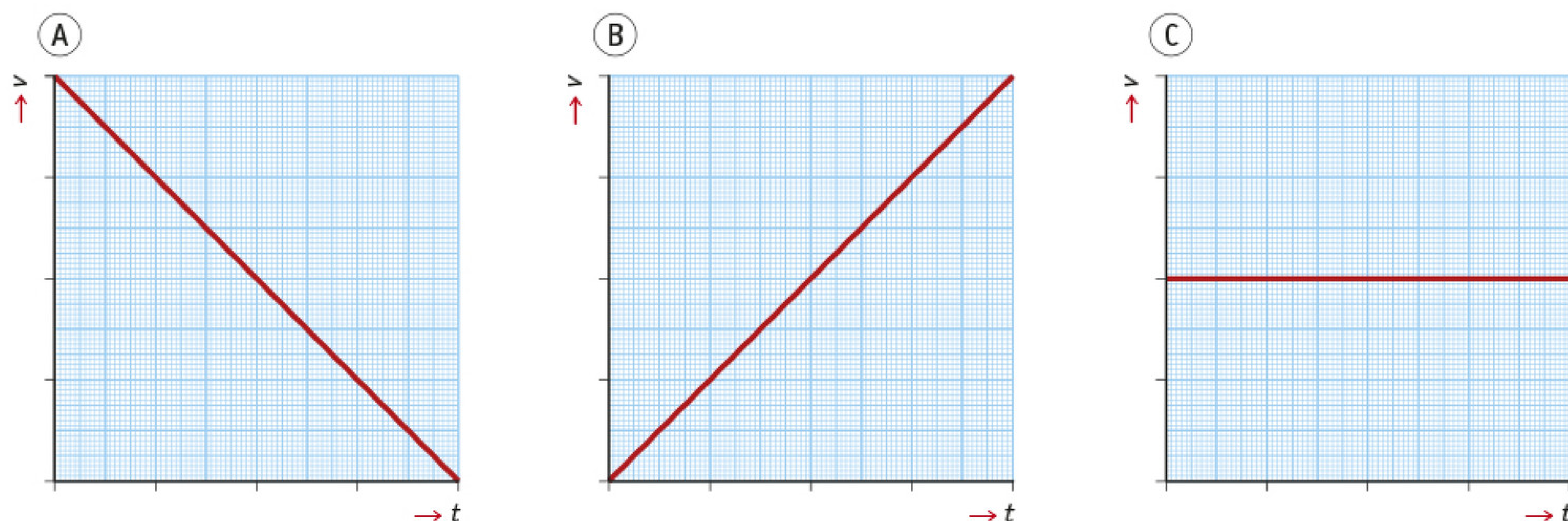
a waarvan de snelheid steeds groter wordt?
b waarvan de snelheid niet verandert?
c waarvan de snelheid steeds kleiner wordt?

2 Bij deze opdracht heb je grafiekpapier nodig.
In opdracht 1 worden drie bewegingen beschreven.

a Schets de (x,t)-diagrammen van deze bewegingen.
b Schrijf bij elk diagram om wat voor beweging het gaat.
c Wanneer noem je een versnelde beweging een eenparig versnelde beweging?

3 In figuur 12 zie je het (v,t)-diagram van drie bewegingen.
Geef voor elk diagram aan om wat voor beweging het gaat.

- diagram A: *versneld / eenparig / vertraagd*
- diagram B: *versneld / eenparig / vertraagd*
- diagram C: *versneld / eenparig / vertraagd*



figuur 12 Het (v,t)-diagram van drie bewegingen.

4 Geef van elke beweging aan of deze versneld, eenparig of vertraagd is.

a De beweging van je fiets als je zonder te trappen een heuvel op gaat.
versneld / eenparig / vertraagd

b De beweging van een sneltrein gedurende het grootste deel van de reis.
versneld / eenparig / vertraagd

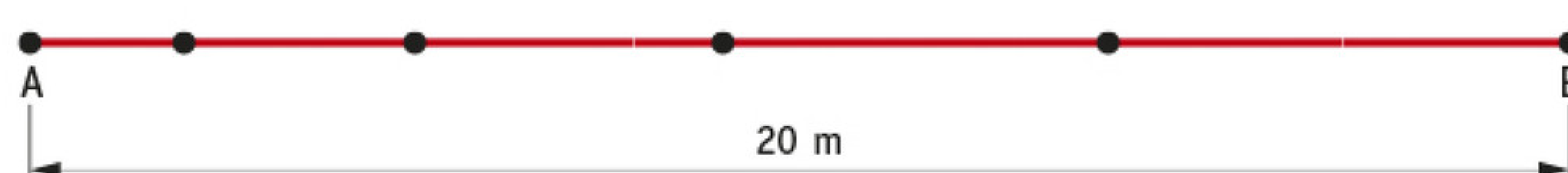
c De beweging van een atleet tijdens de eerste seconde van de 100 meter.
versneld / eenparig / vertraagd

d De beweging van een auto die remt voor een overstekende voetganger.
versneld / eenparig / vertraagd

5 Een scooter lekt elke seconde een druppel olie. In figuur 13 is een deel getekend van het oliespoor op de weg. De eerste druppel olie valt bij A. De afstand tussen A en B bedraagt 20 m.

a Waaraan zie je dat de scooter tussen A en B versneld beweegt?

b Bereken de gemiddelde snelheid van de scooter tussen A en B.



figuur 13 Een oliespoor.

6 Judith fietst van huis naar school. In figuur 14 zie je het (x,t)-diagram van haar beweging. Welk gedeelte van het diagram hoort bij elk van de volgende omschrijvingen?

a Ze staat stil voor een rood verkeerslicht. ....

b Ze rijdt met een constante snelheid van 4,0 m/s. ....

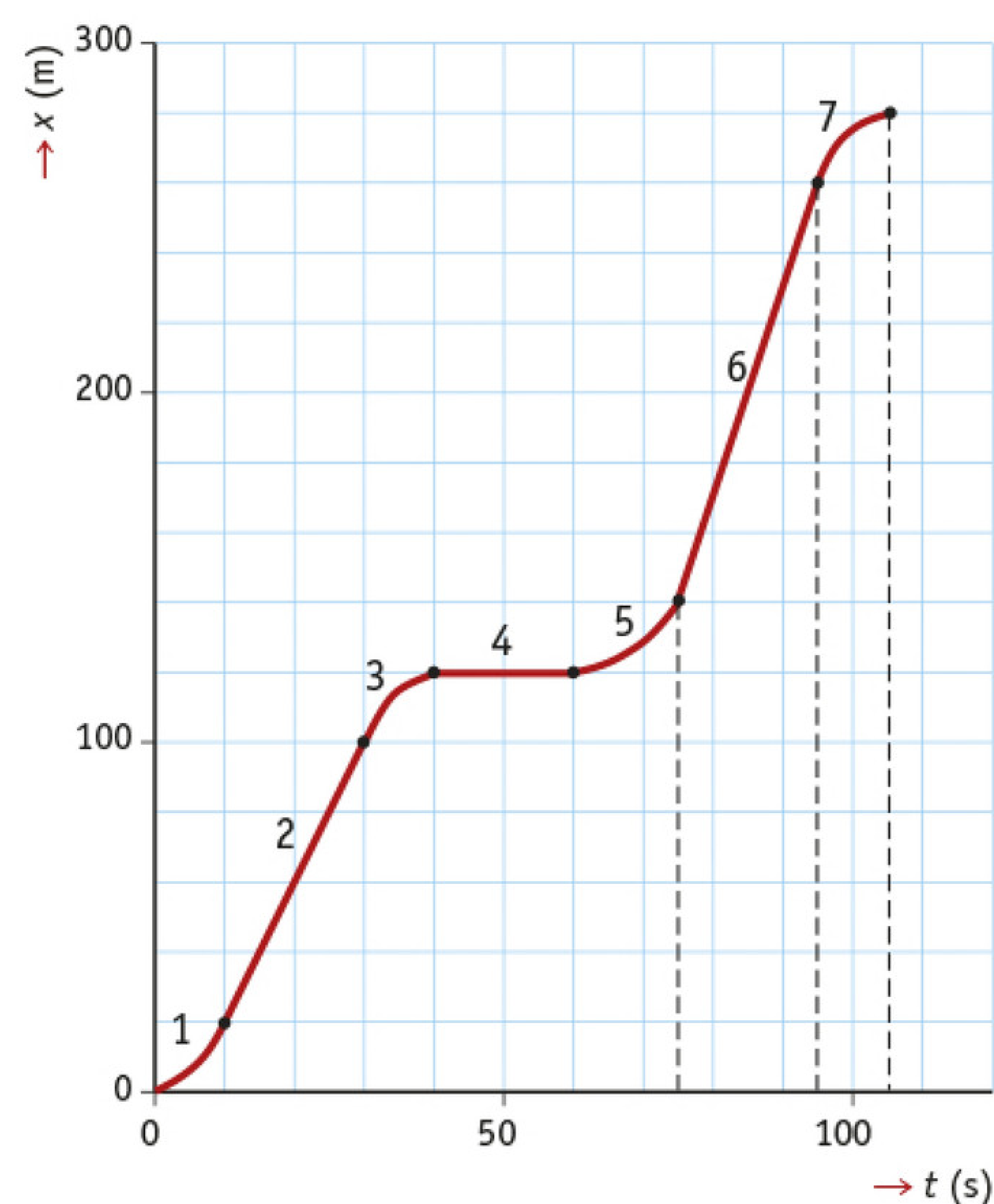
c Ze remt af als een verkeerslicht op rood springt. ....

d Ze stapt op de fiets en rijdt van huis weg. ....

e Ze rijdt met een constante snelheid van 6,0 m/s. ....

f Ze rijdt weg als het verkeerslicht op groen springt. ....

g Ze remt en stapt af als ze bij school aankomt. ....



figuur 14 Het (x,t)-diagram van Judith.

7 Bekijk het (x,t)-diagram in figuur 14 nog eens.

a In welke gedeelten van het diagram:
- is de beweging versneld? *deel 1 / deel 2 / deel 3 / deel 4 / deel 5 / deel 6 / deel 7*
- is de beweging eenparig? *deel 1 / deel 2 / deel 3 / deel 4 / deel 5 / deel 6 / deel 7*
- is de beweging vertraagd? *deel 1 / deel 2 / deel 3 / deel 4 / deel 5 / deel 6 / deel 7*

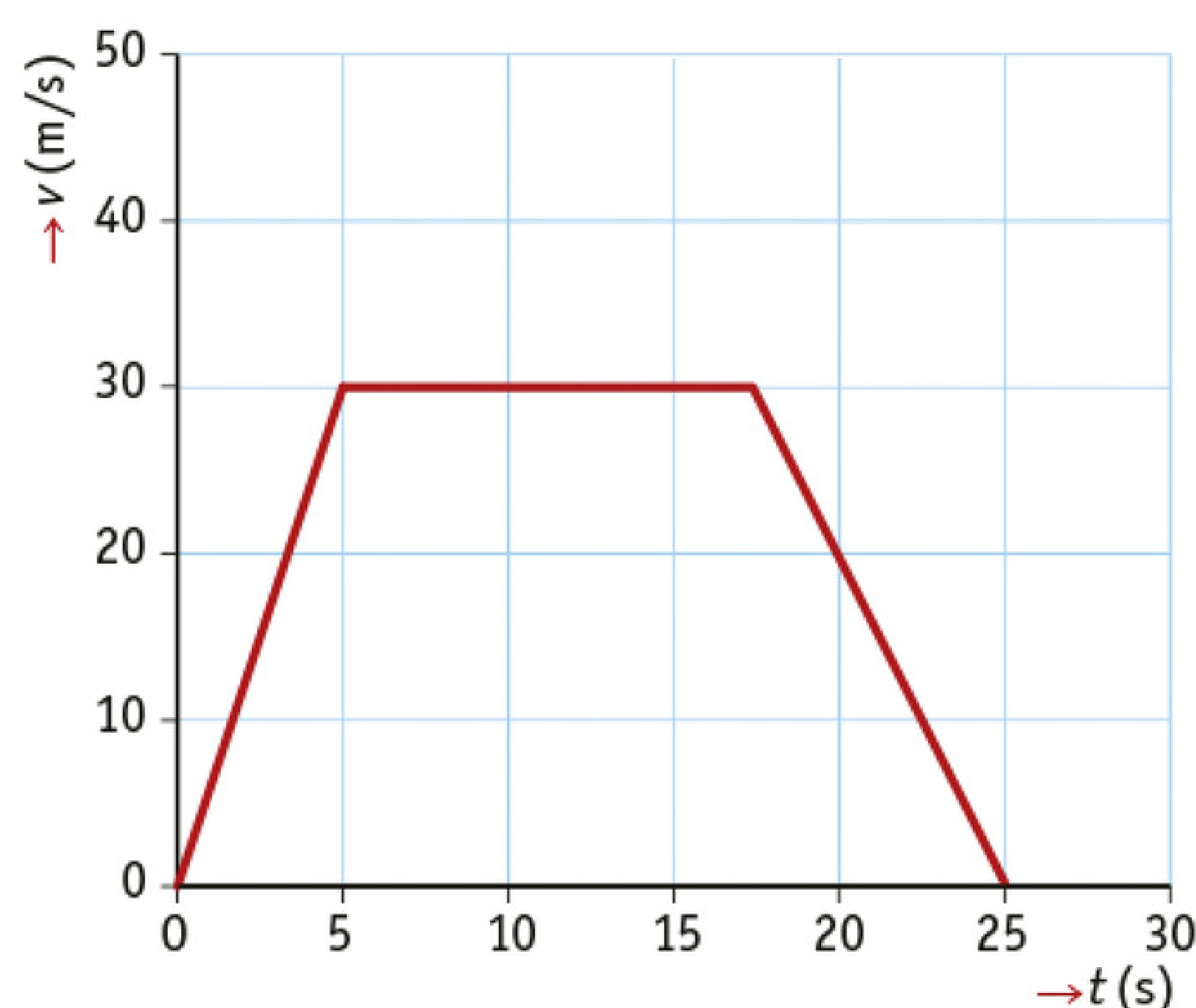
b Bereken de gemiddelde snelheid van Judith in km/h.

★ 8 In figuur 15 zie je het (v,t)-diagram van een ritje met een sportauto.

a Tussen welke tijdstippen reed de auto eenparig versneld?

b Hoelang duurde de eenparige beweging?

c Bereken de afgelegde afstand van de auto.



figuur 15 Het (v,t)-diagram van een autorit.

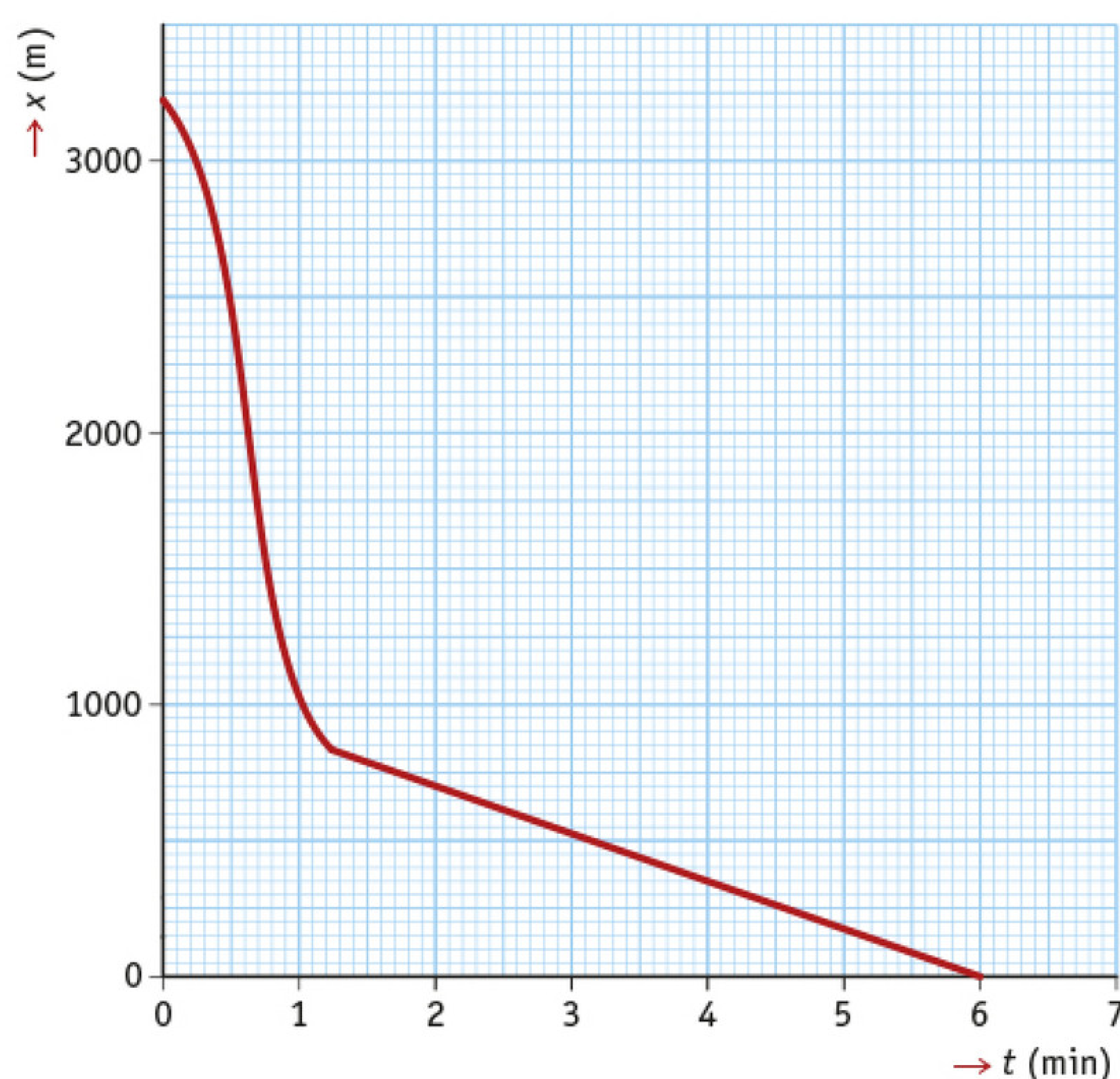
9 In figuur 16 zie je het (x,t)-diagram van een parachutesprong.

a Vanaf welke hoogte sprong de parachutist?

b Op welk tijdstip ging de parachute open?

c Tussen welke tijdstippen:
- is de beweging versneld?
- is de beweging vertraagd?
- is de beweging eenparig?

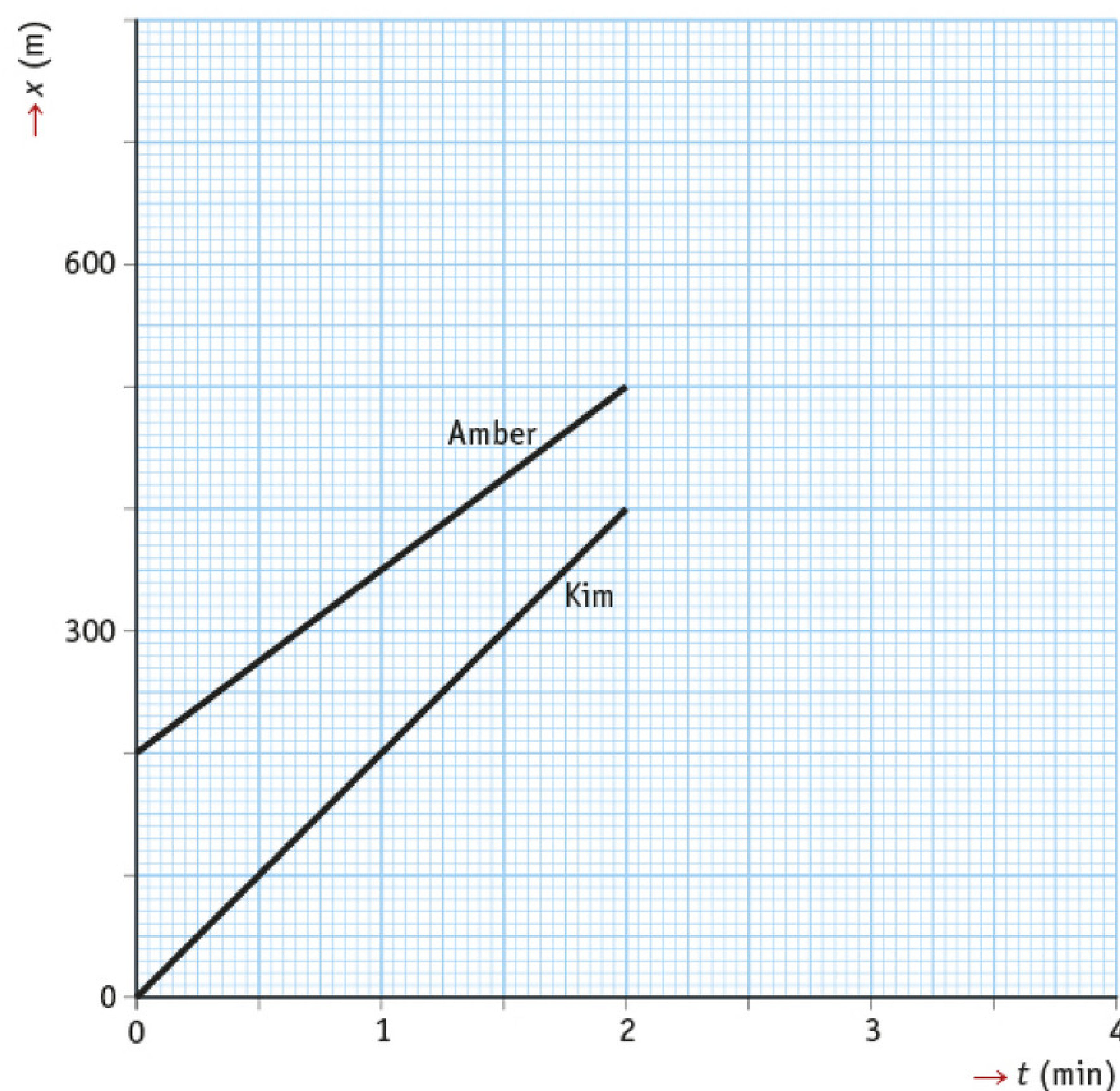
d Tussen welke tijdstippen heeft de parachutist de hoogste snelheid?



figuur 16 Het (x,t)-diagram van een parachutesprong.

10 Kim en Amber zitten bij elkaar in de klas. Kim komt voorbij Ambers huis als ze naar school fietst. In figuur 17 is het (*x*,*t*)-diagram getekend van de rit van Kim en Amber naar school.

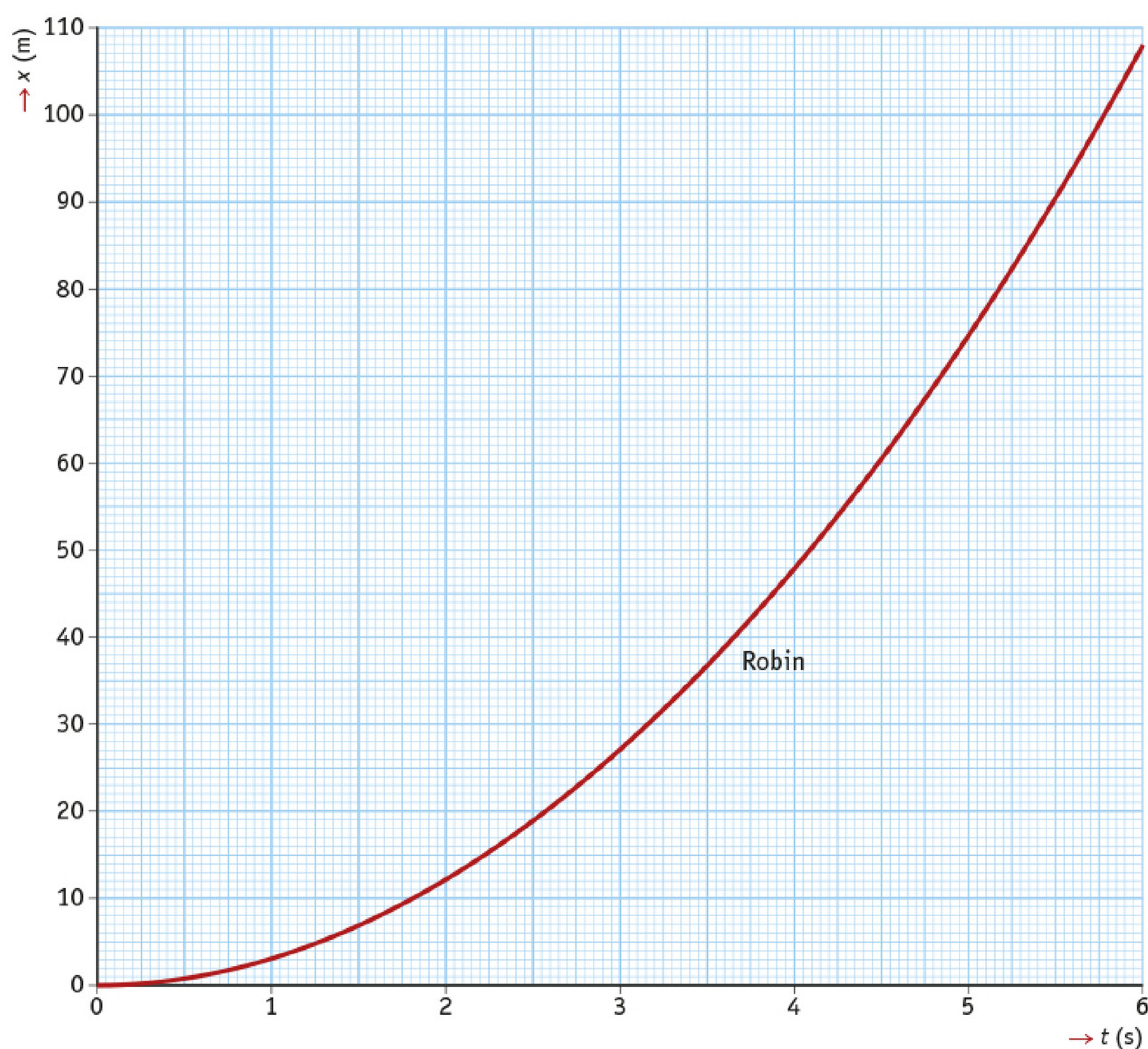
- **a** Op hoeveel meter van Kim start Amber?
- **b** Wie fietst het snelst? Waaraan zie je dat?
- **c** Bereken de snelheid van beide scholieren.
- **d** Kim en Amber rijden met dezelfde snelheid verder, totdat de een de ander inhaalt. Teken de grafiek van hun bewegingen in figuur 17.
- **e** Zet een stip met de letter S op de plaats waar Kim en Amber elkaar ontmoeten.
- **f** Na hoeveel minuten gebeurt dat?



figuur 17 Een (*x*,*t*)-diagram.

★ 11 Robin en Lotte maken een toertocht op hun motoren. Robin staat voor een verkeerslicht te wachten, als Lotte aan komt rijden. Als het verkeerslicht op groen springt, trekt Robin op. Op hetzelfde moment passeert Lotte hem op haar motor. Lotte heeft op dat moment een constante snelheid van 54 km/h.

- **a** Teken in figuur 18 de grafiek van Lottes beweging.
- **b** Op welk tijdstip zal Robin Lotte passeren?
- **c** Lees in de grafiek af op hoeveel meter van het verkeerslicht Robin Lotte passeert.



figuur 18 Het (x,t)-diagram van Robin en Lotte.

Test je kennis met de *Test Jezelf*.

EXTRA *REJECTED TAKE-OFF*

12 Een start op de landingsbaan kan alleen worden afgebroken als de snelheid nog niet boven een bepaalde snelheid ligt. Deze snelheid wordt in de luchtvaart 'v_1' genoemd en wordt voor elke start van een vliegtuig opnieuw berekend. Deze snelheid v_1 hangt onder andere af van de massa van het vliegtuig.

a Noteer nog een factor waarvan deze snelheid zal afhangen.

b Zal een zwaar beladen vliegtuig een grotere of juist een kleinere v_1 hebben dan eenzelfde soort vliegtuig dat zonder lading vertrekt?

13 Een vliegtuig maakt bij een snelheid van 270 km/h op de landingsbaan een noodstop. De piloot weet het vliegtuig in 24 s tot stilstand te brengen.

a Reken de snelheid om naar m/s.

b De snelheid neemt tijdens de noodstop gelijkmatig af, tot het vliegtuig stilstaat. Bereken de gemiddelde snelheid van het vliegtuig tijdens de noodstop.

c De resterende lengte van de startbaan is 1,0 km (vanaf het moment dat de piloot begint met remmen).
Ga met een berekening na of het vliegtuig voor het eind van de startbaan tot stilstand komt.

4 Remmen en botsen

LEERDOELEN

5.4.1 Je kunt uitleggen wat de remweg is en waarvan de remweg afhangt.
5.4.2 Je kunt aan de hand van een grafiek uitleggen wat het verband is tussen de beginsnelheid en de remweg.
5.4.3 Je kunt uitleggen wat bedoeld wordt met de reactietijd en de reactie-afstand.
5.4.4 Je kunt de stopafstand van een auto berekenen.
EXTRA 5.4.5 Je kunt uitleggen hoe een airbag verkeersdeelnemers beschermt bij een botsing.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN				
	5.4.1	5.4.2	5.4.3	5.4.4	5.4.5
Onthouden	1ac, 2ab, 3c	1b	1d, 3ab	3d	11
Begrijpen	4	5a	6b		12acd
Toepassen			5b, 7ab, 8ac, 9a	5c, 9b	12b
Analyseren		9c, 10	8bd	6ac, 7c, 9d	

Je moet als automobilist altijd rekening houden met het verkeer om je heen. In geval van nood moet je tijdig kunnen stoppen – ook als de weg glad is en je auto zwaar beladen. Een goede automobilist neemt daarom snelheid terug en houdt meer afstand tot voorliggers als de situatie daarom vraagt.

DE REMWEG

Als het rempedaal van een auto wordt ingetrapt, beweegt de auto vertraagd verder tot hij stilstaat. Tijdens deze vertraagde beweging legt de auto nog een bepaalde afstand af. Deze afstand wordt de remweg genoemd. Hoe langer de **remweg**, des te groter is de kans op een ongeluk.
Hoe lang de remweg is, hangt af van:

1 *de beginsnelheid*
De beginsnelheid is de snelheid op het moment dat de auto begint te remmen. Hoe groter de beginsnelheid, des te langer is de remweg.

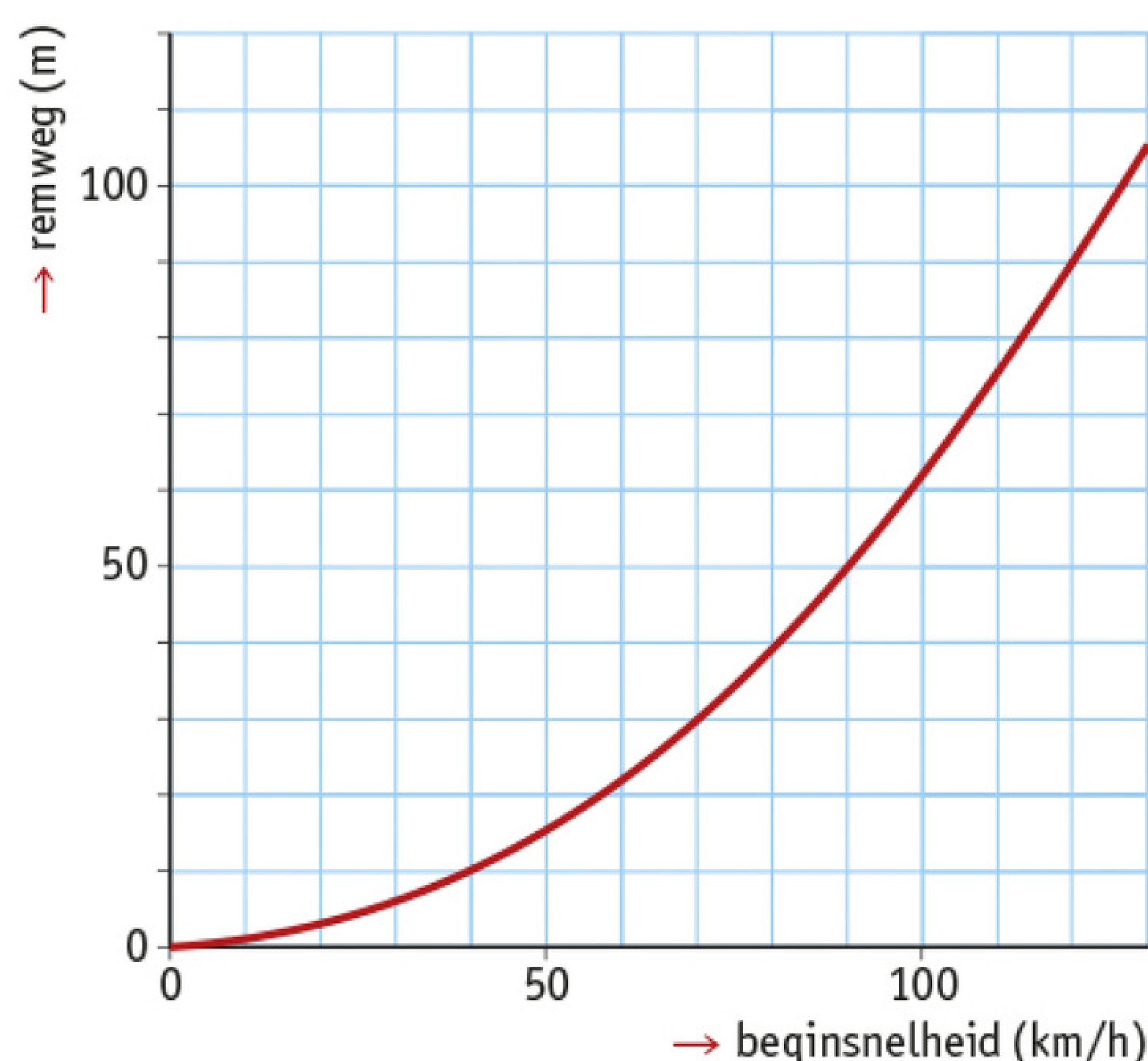
2 *de (totale) massa van de auto*
Hoe groter de massa van de auto, des te langer is de remweg. Een volgeladen vrachtwagen heeft een langere remweg dan een lege.

3 *de remkracht*
Hoe harder je op het rempedaal trapt, des te groter is de remkracht en des te korter is de remweg (zolang de auto niet begint te slippen).

DE BEGINSNELHEID EN DE REMWEG

PROEF 4

In figuur 1 kun je zien hoe lang de remweg van een personenauto is bij verschillende beginsnelheden. De gegevens in de grafiek zijn afkomstig van remproeven. Bij deze proeven is steeds dezelfde auto gebruikt. Ook is steeds even hard geremd. Alleen de beginsnelheid was elke keer anders.



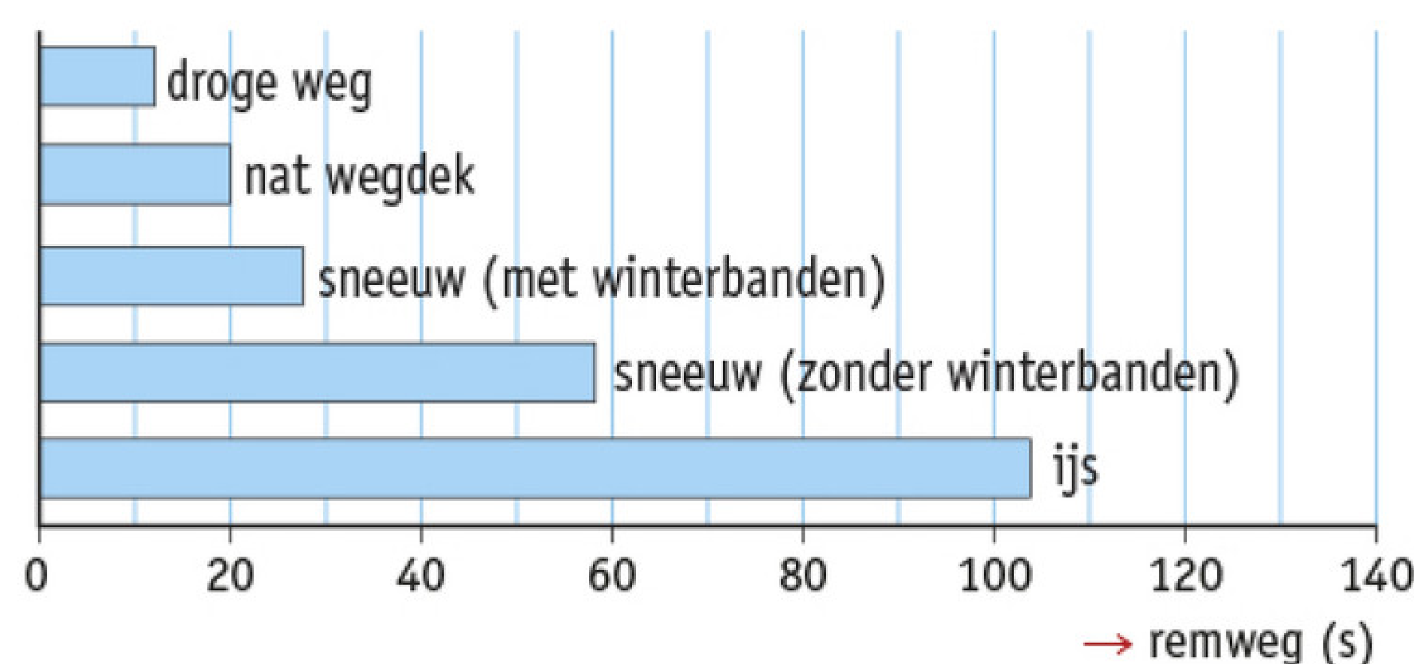
figuur 1 Remweg en beginsnelheid.

Uit de grafiek blijkt dat de remweg snel toeneemt als de snelheid van de auto groter wordt. Om precies te zijn:

> Als de snelheid *n* keer zo groot wordt, wordt de remweg n^2 keer zo lang.

Als de snelheid verdubbelt van 40 naar 80 km/h, wordt de remweg vier (2^2) keer zo lang: van 10 m bij 40 km/h naar 40 m bij 80 km/h.

De grafiek in figuur 1 geldt voor normale omstandigheden: goede remmen en banden, een normaal wegdek en droog weer. Als de remmen versleten zijn, de banden weinig profiel hebben of het wegdek glad is door sneeuw of ijzel, kan de bestuurder minder hard remmen. De remkracht is dan kleiner en de remweg langer, soms zelfs veel langer (figuur 2).



figuur 2 De remweg van een auto onder verschillende weersomstandigheden.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Als een auto 40 km/h rijdt (v_1), is de remweg (onder normale omstandigheden) 10 m (s_1). Hoe lang is de remweg (s_2) als de auto 120 km/h rijdt (v_2)?

gegevens v_1 = 40 km/h
v_2 = 120 km/h
s_1 = 10 m

gevraagd s_2 = ?

uitwerking v_2 is 3× zo groot als v_1, dus $n = 3$
s_2 is dus $n^2 = 3^2 = 9$× zo groot als s_1
De remweg s_2 is dus 9 × 10 = 90 m.

DE MASSA EN DE REMWEG

Behalve de (begin)snelheid heeft ook de massa invloed op de remweg. Hoe zwaarder een auto of een fiets beladen is, hoe langer de remweg wordt. Dat merk je bijvoorbeeld als je iemand meeneemt achter op je fiets. Ook al rem je even hard als anders, met iemand achterop duurt het langer voor je stilstaat (figuur 3).



figuur 3 Met iemand achterop is de massa groter en de remweg langer.

Veel mensen gaan zomers met een zwaarbeladen auto op vakantie. De remweg van hun auto is dan langer dan ze gewend zijn. Als het goed is, houden ze daar ook rekening mee. Bijvoorbeeld door langzamer te rijden, vooral als het verkeer druk is. Zo kunnen ze de remweg, die anders te lang zou worden, terugbrengen tot een veilige waarde.
Met een zwaarbeladen auto moet je op de snelweg ook meer afstand houden. Als er dan onverwacht iets gebeurt, zul je minder snel tegen je voorligger aanrijden. Meer afstand houden is ook een goed idee als het regent of sneeuwt. Zo verklein je de kans op een ongeluk.

DE REACTIETIJD

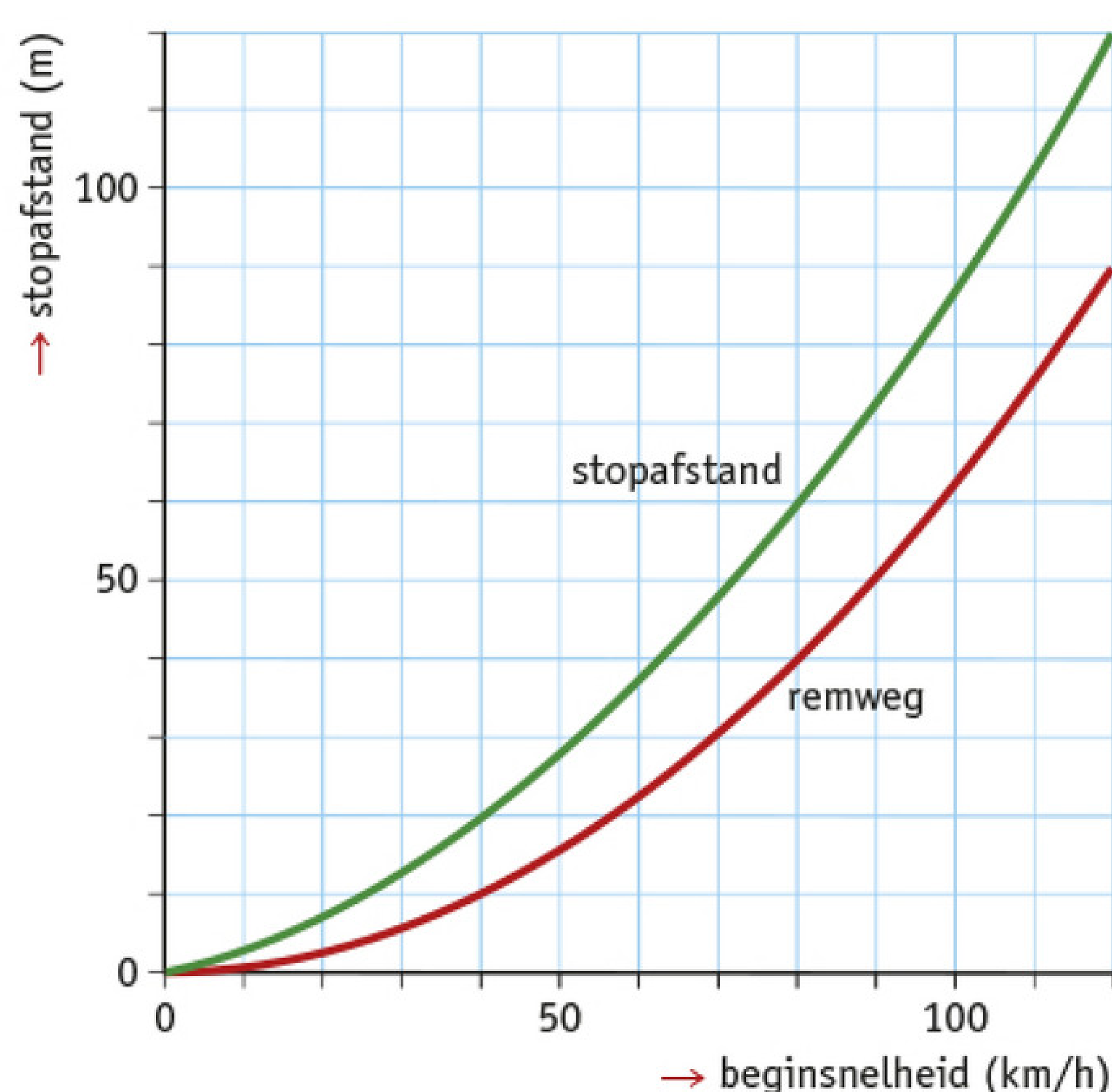
PROEF 5

Als een kind voor een auto de weg op rent, zal de bestuurder afremmen. Maar de bestuurder kan onmogelijk meteen reageren. Het duurt altijd even voordat de bestuurder het rempedaal intrapt en de remmen aangrijpen. De tijd tussen het zien van het gevaar en het aangrijpen van de remmen wordt de **reactietijd** genoemd.

De reactietijd ligt normaal gesproken tussen 0,7 en 1,0 s. Maar als je niet oplet of als je moe bent, reageer je een stuk langzamer. Het gebruik van alcohol, drugs en sommige medicijnen maakt de reactietijd ook langer.

De totale afstand die een auto nodig heeft om te stoppen – de **stopafstand** – is daarom groter dan de remweg. Je moet namelijk ook de afstand meerekenen die de auto tijdens de reactietijd aflegt: de **reactie-afstand** (figuur 4). Met andere woorden:

stopafstand = reactie-afstand + remweg



figuur 4 De stopafstand is groter dan de remweg.

VOORBEELDOPDRACHT 2

Justine rijdt met 45 km/h over een lokale weg, als ze plotseling moet remmen voor een hond die de weg op rent. Haar reactietijd is 0,8 s.
Bepaal hoe groot de stopafstand is. Je kunt de remweg aflezen uit figuur 1.

gegevens over de reactie-afstand:
v = 45 km/h = 12,5 m/s
t = 0,8 s
over de remweg:
Volgens figuur 1 is de remweg 12 m (bij 45 km/h).

gevraagd stopafstand = ?

uitwerking reactie-afstand: $s = v \cdot t$ = 12,5 × 0,8 = 10 m
stopafstand = reactie-afstand + remweg = 10 + 12 = 22 m

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA DE AIRBAG

Als een auto ergens tegenaan botst, staat hij vrijwel meteen stil. De 'remweg' bij een botsing is heel kort en de klap die de inzittenden krijgen, is groot. Om de inzittenden te beschermen, moet de 'remweg' van de inzittenden bij een botsing zo lang mogelijk gemaakt worden. Als een passagier met zijn hoofd tegen de voorruit slaat, is de remweg extreem kort. Daarom hebben auto's een airbag: een soort ballon die tijdens de botsing heel snel wordt opgeblazen. Een airbag 'geeft goed mee', waardoor de remweg een stuk langer wordt.

Veel autofabrikanten brengen alleen airbags aan om de inzittenden te beschermen tegen de gevolgen van een botsing. Als een auto in botsing komt met een fietser of voetganger, is de kans vrij klein dat de inzittenden van de auto gewond raken. Maar meestal raakt de fietser of voetganger wél ernstig gewond.

Daarom hebben sommige auto's ook airbags die fietsers en voetgangers beschermen (figuur 5). Zij lopen zware verwondingen op als ze met hun hoofd tegen de auto klappen. Daarom wordt er aan de buitenkant van de auto, onder de motorkap, een airbag aangebracht. Bij een botsing komt het hoofd dan niet meer hard in aanraking met het metaal of het glas van de auto, maar met de opgeblazen airbag.



figuur 5 Een airbag voor fietsers en voetgangers.

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke drie factoren bepalen de lengte van de remweg van een auto?

b Welk verband bestaat er tussen de snelheid van een auto en zijn remweg?

c Hoe verandert je remweg als je iemand meeneemt achter op je fiets?

d Door welke oorzaken kan iemands reactietijd langer zijn dan normaal?

2 Onder slechte omstandigheden kan een auto een ongewoon lange remweg hebben.

a Noteer drie voorbeelden van zulke slechte omstandigheden.

b In zo'n situatie moet de bestuurder van de auto zijn rijstijl aanpassen.
Noteer twee dingen die hij kan doen om de kans op ongelukken te verkleinen.

3 Als een automobilist ziet dat hij moet stoppen, remt de auto niet op hetzelfde moment al af.

- **a** Hoe noem je de tijd tussen het zien van het gevaar en het aangrijpen van de remmen?
- **b** Hoe noem je de afstand die de auto in die tijd aflegt?
- **c** Hoe noem je de afstand die de auto tijdens het remmen aflegt, tot hij stilstaat?
- **d** Hoe kun je de totale stopafstand berekenen?

4 Langs de kant van de weg zie je af en toe een bord waarop staat dat het wegdek vernieuwd is.
Waarom wil men dit aan de weggebruikers melden?

5 Een personenauto rijdt 120 km/h. De omstandigheden zijn normaal.

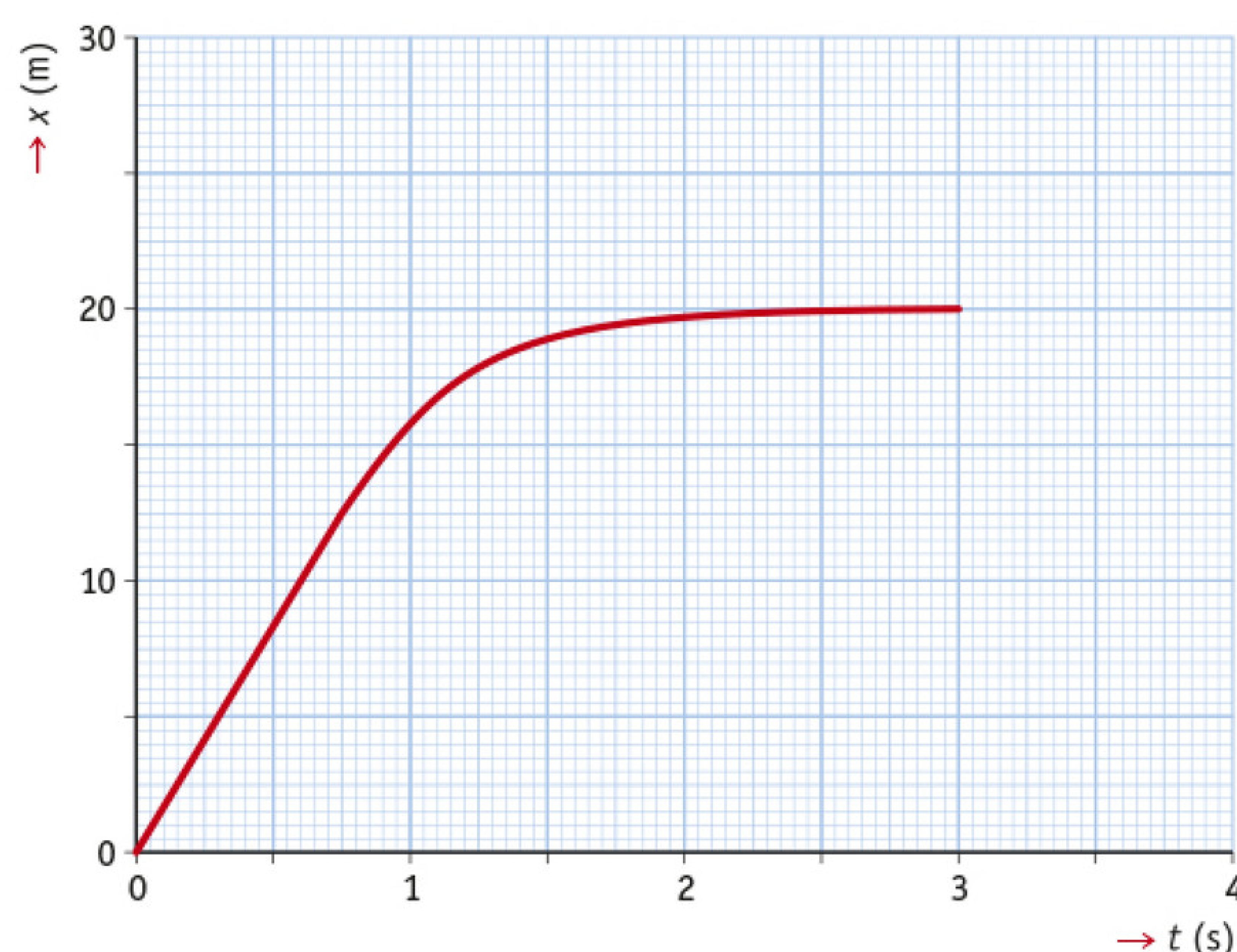
- **a** Lees uit figuur 1 af hoe groot de remweg is bij deze snelheid.
- **b** De bestuurder van de auto heeft een reactietijd van 0,8 s.
  Bereken hoe groot zijn reactie-afstand zal zijn bij 120 km/h.
- **c** Bereken hoe groot de totale stopafstand in deze situatie is.

6 Een automobilist rijdt in de bebouwde kom 40 km/h. Plotseling ziet hij 22 m voor zijn auto een kind oversteken. Zijn reactietijd is 0,9 s.

- **a** Laat met een berekening zien dat er net geen botsing tussen auto en kind optreedt.
  Gebruik figuur 1 om de remweg af te lezen.
- **b** Hoeveel maal wordt de reactieafstand groter als de snelheid van de auto verdubbelt?
- **c** Bij welke afstand tussen auto en kind was het nog net goed gegaan bij een snelheid van 80 km/h?

7 In figuur 6 is het (*x*,*t*)-diagram getekend van een auto die plotseling moet stoppen voor een overstekende hond.

- **a** Hoe kun je aan de grafiek zien dat de reactietijd gelijk is aan 0,75 s?
- **b** Bereken met behulp van de gegevens in figuur 6 hoe groot de beginsnelheid van de auto was.
- **c** Bepaal met behulp van het diagram:
  - de reactie-afstand;
  - de stopafstand;
  - de remweg.



figuur 6 Het (*x*,*t*)-diagram van een remmende auto.

8 De overheid adviseert automobilisten om op doorgaande wegen 'minstens twee seconden afstand te houden'.

a Twee auto's rijden met een constante snelheid van 130 km/h op de snelweg achter elkaar aan. De achterste bestuurder houdt zich exact aan de 'tweesecondenregel'. Bereken de afstand tussen de twee auto's.

b Waarom drukt de overheid de afstand uit in seconden en niet in meters?

c Sommige rijinstructeurs gebruiken een andere regel: de veilige afstand in meters is de helft van de snelheid in km/h.
Bereken de afstand tussen de twee auto's volgens deze regel.

d Geeft de regel van de overheid altijd een veiliger afstand dan de regel van de rijinstructeurs of is dat afhankelijk van de snelheid waarmee de auto rijdt?

★ 9 In veel steden zijn 30 km-zones ingesteld.

a Een automobilist heeft een reactietijd van 1,0 s.
Bereken de reactie-afstand als een automobilist 30 km/h rijdt.

b De remweg bij 30 km/h is 5,3 m.
Hoe lang is de stopafstand bij 30 km/h?

c Bereken de stopafstand bij 50 km/h. Schrijf de hele berekening op.

d De automobilist rijdt met 30 km/h door de bebouwde kom als hij een fietser ziet aankomen uit een zijweg van rechts. Hij kan dan net op tijd stilstaan om de fietser voorrang te verlenen.
Met welke snelheid zou de automobilist voorbij de zijweg zijn gereden als hij 50 km/h had gereden toen hij de fietser zag? Schrijf precies op hoe je aan je antwoord komt.

★ 10 Op een snelweg remt een auto af van 120 km/h naar 100 km/h. Bij 120 km/h is de remweg van de auto ongeveer 90 m.
Bereken hoeveel meter korter de remweg is bij 100 km/h.


Test je kennis met de *Test Jezelf*.

EXTRA DE AIRBAG

11 Een fietsersairbag beschermt een fietser bij een botsing met een auto.
Leg uit waar die beschermende werking op berust. Gebruik in je uitleg het begrip 'remweg'.

12 Bij een botsing van een auto tegen een boom wordt de airbag bij de bijrijdersstoel opgeblazen. Sensoren in de auto detecteren of er een botsing heeft plaatsgevonden. Het duurt dan nog ongeveer 30 ms voordat de sensoren het signaal geven om de airbag op te blazen. Ongeveer 65 ms na de botsing raakt het hoofd van de passagier de volledig opgeblazen airbag.

a Leg uit wat de maximale tijd mag zijn waarin de airbag volledig moet kunnen worden opgeblazen.

b De snelheid waarmee het hoofd de airbag raakt, is 36 km/h. Het hoofd van de passagier komt vervolgens in 40 ms (gelijkmatig) tot stilstand.
Bereken de afstand waarover de airbag is ingedrukt.

c De airbag in het stuur van een auto wordt opgeblazen als een sensor een plotselinge snelheidsverandering waarneemt. Auto's met airbags die fietsers en voetgangers beschermen (zogeheten externe airbags) hebben ook sensoren. Deze sensoren sturen signalen naar een chip die berekent of een botsing onvermijdelijk is.
Leg uit dat sensoren die detecteren of er een snelheidsverandering heeft plaatsgevonden niet bruikbaar zijn voor de externe airbags.

d Welke twee grootheden zullen deze sensoren meten?

Practica

PROEF 1 EEN STROBOSCOPISCHE FOTO MAKEN

50 minuten

Inleiding

Het maken van een stroboscopische foto is vaak een goede manier om een beweging vast te leggen. Het mooie van zo'n foto is dat hij de hele beweging in één beeld samenvat. Sporters gebruiken zo'n foto om erachter te komen hoe ze een beweging exact uitvoeren. Zo kunnen ze ontdekken wat zij nog kunnen verbeteren.

Doel

Bij deze proef maak je zelf een aantal stroboscopische foto's.

Nodig

- ☐ stroboscopische lamp
- ☐ camera met instelbare sluitertijd
- ☐ statief
- ☐ verduisterde ruimte met een donkere achtergrond

Uitvoeren en uitwerken

Werkverdeling

Een deel van de klas maakt de foto's. Dit zijn de fotografen. De andere leerlingen voeren om de beurt een beweging uit. Zij zijn de proefpersonen.

Voorbereiden

Instructie voor de proefpersonen:

- Bedenk welke beweging je straks gaat uitvoeren. Wees creatief en bedenk bewegingen die het 'goed doen' op een stroboscopische foto.
- Probeer de beweging uit. Let goed op je eigen veiligheid en op die van anderen.

Proefdraaien en instellen

Instructies voor de fotografen:

- Laat de proefpersoon zijn of haar beweging uitvoeren. Stel vast hoeveel tijd de te fotograferen beweging duurt.
- Stel de hoogte van het statief zo in dat de beweging goed in beeld komt.
- Stel de sluitertijd van de camera zo in dat de hele beweging gefotografeerd wordt.
- Stel de stroboscooplamp in op een geschikte waarde, tussen de 5 en 20 flitsen per seconde.

Uitvoeren

Instructies voor de fotografen:

- Vraag de proefpersoon die aan de beurt is, klaar te gaan staan.
- Druk de ontspanknop van de camera in en geef het startsein.
- Wacht tot de sluiter van de camera weer is gesloten.

Uitwerken

1 Bekijk en beoordeel de foto.

a Staat de beweging er duidelijk op?

....

b Is de afstand tussen de verschillende beelden goed?

....

c Had de sluitertijd de juiste waarde: niet te lang of te kort?

....

- Pas zo nodig de instellingen aan en maak nog een foto. Ga anders door naar de volgende proefpersoon.

2 Wat verandert er aan de foto als het aantal flitsen per seconde wordt verhoogd of verlaagd?

....

....

3 Wat verandert er aan de foto als de beweging langzamer wordt uitgevoerd?

....

....

4 Wat verandert er aan de foto als de sluitertijd langer of korter wordt?

....

....

5 Maak van de foto's die je hebt gemaakt een plaats-tijddiagram.

PROEF 2 BEWEGINGEN BESTUDEREN

45 minuten

Inleiding

Als je een beweging wilt bestuderen, begin je ermee de beweging vast te leggen. Je gaat na waar het bewegende voorwerp is (= de plaats) op een aantal opeenvolgende tijdstippen (= de tijd). Na afloop kun je de gegevens op verschillende manieren verwerken.

Doel

Je legt van vijf bewegingen de plaats en tijd vast. Daarna verwerk je de gegevens tot een plaats-tijddiagram.

Nodig

- ☐ 6 tot 10 stopwatches
- ☐ startvlag
- ☐ krijtje
- ☐ touw van 10 m
- ☐ fiets
- ☐ grafiekpapier

Uitvoeren en uitwerken

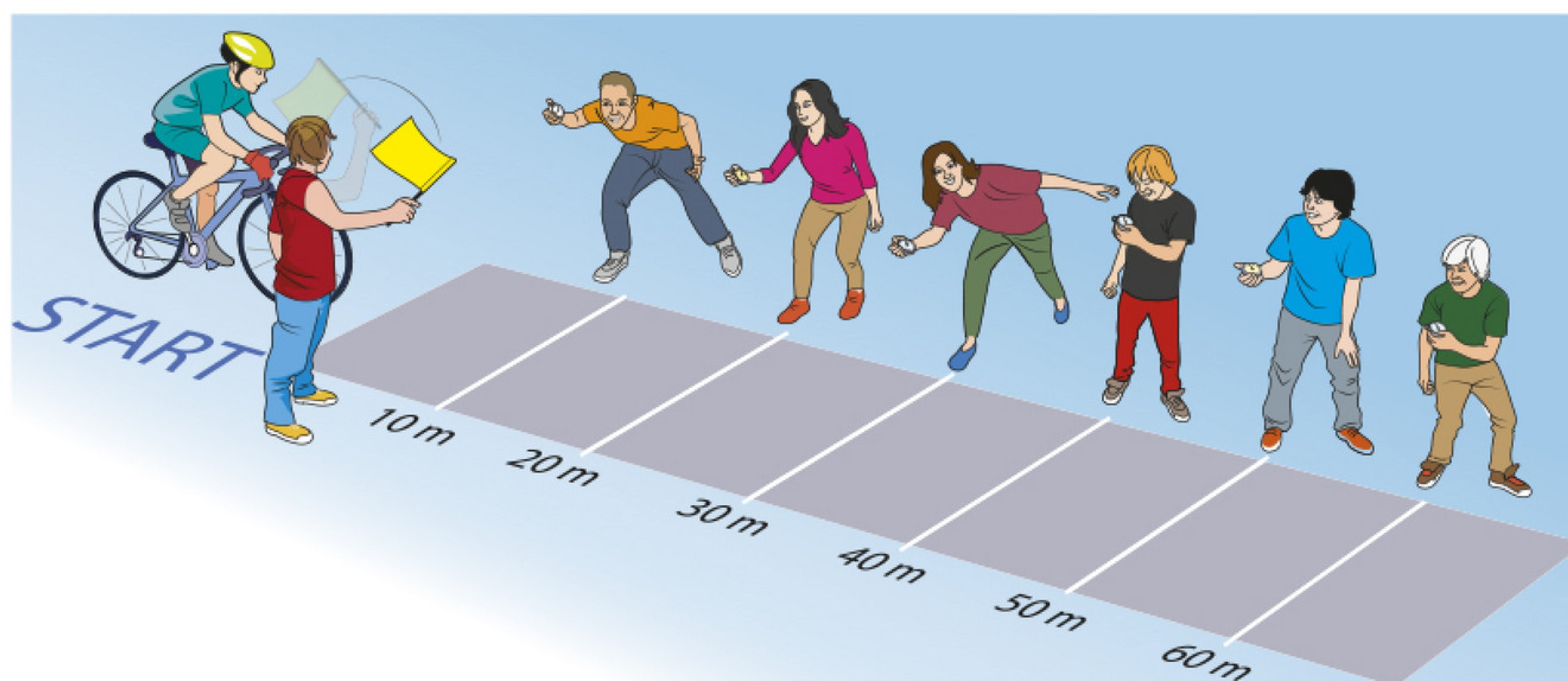
Voorbereiden

- Op een geschikte plaats is een baan van 60 tot 100 meter uitgezet, met om de 10 meter een krijtlijn (figuur 1).
- Bij de start gaat één leerling staan met de startvlag. Bij elke 10-meterlijn gaat één leerling staan met een stopwatch.

Uitvoeren

Elke keer wordt er als volgt gemeten:

- De starter zwaait de startvlag naar beneden om de beweging te laten starten. Op hetzelfde moment worden alle stopwatches gestart.
- Op het moment dat de wandelaar/sprinter/fietser een 10-meterlijn passeert, wordt de bijbehorende stopwatch stilgezet.
- Elke leerling met een stopwatch noteert ten slotte de gemeten tijd.



figuur 1 De meetopstelling voor proef 2.

Zo verzamel je gegevens over vijf bewegingen:

- Leerling I wandelt in een gewoon tempo.
- Leerling II sprint zo snel hij kan.
- Leerling III fietst in een kalm tempo.
- Leerling IV fietst zo snel mogelijk.
- Leerling V fietst zo snel mogelijk met een tweede leerling achterop.

Uitwerken

- Na afloop worden alle meetresultaten verzameld op het bord.

1 Noteer alle meetresultaten op de juiste plaats in tabel 1.

tabel 1 De plaats-tijdtabel van proef 2.

	I	II	III	IV	V
plaats (m)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					

2 Teken op grafiekpapier het plaats-tijddiagram van elke beweging. Gebruik steeds een andere kleur.

- Beantwoord de volgende vragen nadat paragraaf 3 is behandeld.

3 Vergelijk jouw plaats-tijddiagrammen met de plaats-tijddiagrammen in paragraaf 3.

a Bij welke beweging(en) is de snelheid min of meer constant? Waaraan zie je dat?

....

....

b Bij welke beweging(en) kun je duidelijk zien dat de beweging in het begin versneld is? Waaraan zie je dat?

....

....

4 Bereken de gemiddelde snelheid van elke beweging, eerst in m/s en daarna in km/h.

....

....

....

PROEF 3 BEWEGINGEN VASTLEGGEN MET EEN TIJDTIKKER

45 minuten

Inleiding
Een tijdtikker is een apparaatje dat stippen zet op een strook papier: de tikkerband. Je maakt de tikkerband vast aan een voorwerp waarvan je de beweging wilt vastleggen. Tijdens de beweging wordt de tikkerband door de tikker getrokken. Die zet dan stippen op de band. Na afloop kun je aan de hand van die stippen nagaan, hoe het voorwerp heeft bewogen.

Doel
Je maakt met behulp van een tijdtikker een plaats-tijddiagram van een versnelde beweging, een eenparige beweging en een vertraagde beweging.

Nodig
- ☐ tijdtikker
- ☐ voedingskastje
- ☐ snoeren
- ☐ drukschakelaar
- ☐ 3 stukken tikkerband van 60 cm
- ☐ liniaal
- ☐ grafiekpapier

Uitvoeren en uitwerken
Voorbereiden
- Je doet deze proef met z'n tweeën.
- Sluit de tijdtikker via de schakelaar aan op het voedingskastje. Je docent vertelt je op hoeveel volt wisselspanning je het apparaat moet laten werken.
- Leg een strook tikkerband van 60 cm in de tijdtikker.

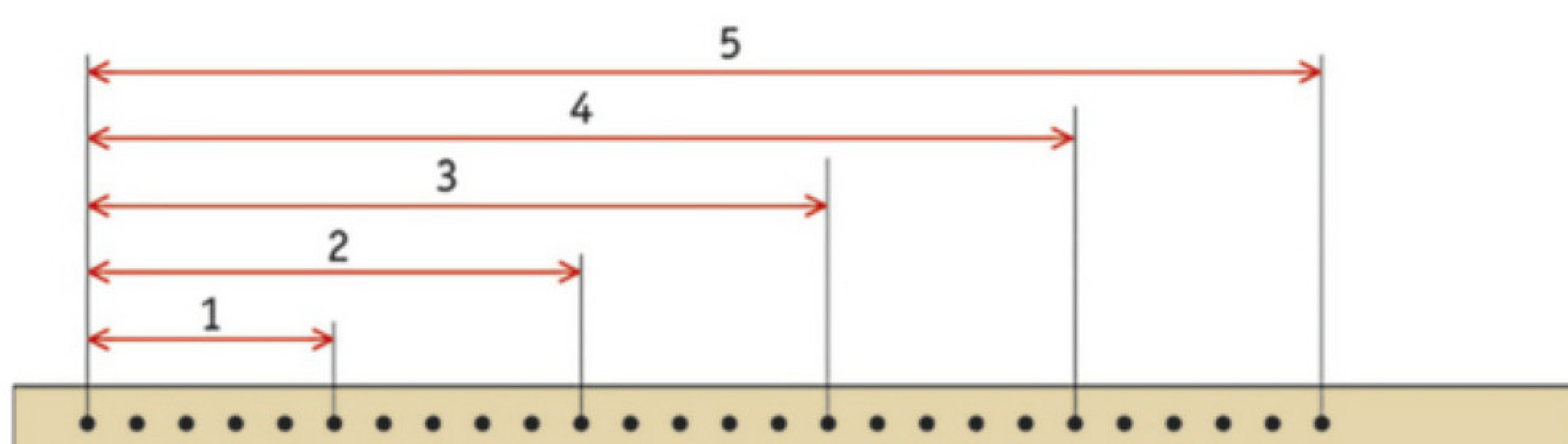
Uitvoeren
Meting 1: een versnelde beweging
- Leerling 1 geeft het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt de strook met een steeds grotere snelheid door de tijdtikker.
  Let op! De hele beweging moet op de strook worden vastgelegd.
- Schrijf op de strook 'versnelde beweging'.
  Zet een B (van begin) bij de eerste stip op de strook.
  Zet een E (van eind) bij de laatste stip op de strook.

Meting 2: een eenparige beweging
- Leg de tweede strook tikkerband in de tijdtikker.
- Leerling 1 geeft het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt de strook met constante snelheid door de tijdtikker.
- Schrijf op de strook 'eenparige beweging'.
  Zet een B bij de eerste stip op de strook.
  Zet een E bij de laatste stip op de strook.

Meting 3: een vertraagde beweging
- Leg de derde strook tikkerband in de tijdtikker.
- Leerling 2 begint de strook met een flinke snelheid door de tijdtikker te trekken.
- Leerling 1 geeft meteen daarna het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt vanaf dat moment de strook met een steeds verder afnemende snelheid verder door de tijdtikker. (Oefen dit een paar keer, zonder de tijdtikker aan te zetten, voor je de proef echt doet.)

- Schrijf op de strook ‘vertraagde beweging’.
  Zet een B bij de eerste stip op de strook.
  Zet een E bij de laatste stip op de strook.

Uitwerken
- Zet met potlood en liniaal een streep bij de eerste punt op de eerste strook.
- Tel vijf punten verder en zet weer een streep. Herhaal dit tot je bij het eind van de strook bent gekomen (zie figuur 2).
- Bewerk de andere twee stroken op dezelfde manier.



figuur 2 Zo zet je de strepen op de tikkerband.

1 Meet de afgelegde afstanden zoals in figuur 2 staat aangegeven.
Noteer de afstanden op de juiste plaats in tabel 2.

tabel 2 De meetresultaten van proef 3.

		meting 1	meting 2	meting 3
afstand nummer	tijd (s)	afstand (cm)	afstand (cm)	afstand (cm)
0	0	0	0	0
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

2 Noteer in de tweede kolom van de tabel in hoeveel tijd elke afstand is afgelegd.
Sommige tijdtikkers zetten vijftig stippen per seconde, andere honderd stippen per seconde. Je docent vertelt je hoe dat zit bij jouw tijdtikker.

3 Teken op grafiekpapier een plaats-tijddiagram:
- **a** van de versnelde beweging.
- **b** van de eenparige beweging.
- **c** van de vertraagde beweging.

4 Hoe ziet de grafiek eruit:
 a van de versnelde beweging?

 ....

 b van de eenparige beweging?

 ....

 c van de vertraagde beweging?

 ....

5 Bereken de gemiddelde snelheden van de bewegingen die op de tikkerstroken zijn vastgelegd. Schrijf steeds de hele berekening op.

....

....

....

....

....

....

....

....

PROEF 4 DE REMWEG VAN JE FIETS

45 minuten

Inleiding
Als je remt met je fiets, sta je niet meteen stil. Tijdens het remmen leg je nog een bepaalde afstand af. Deze afstand wordt de remweg genoemd.

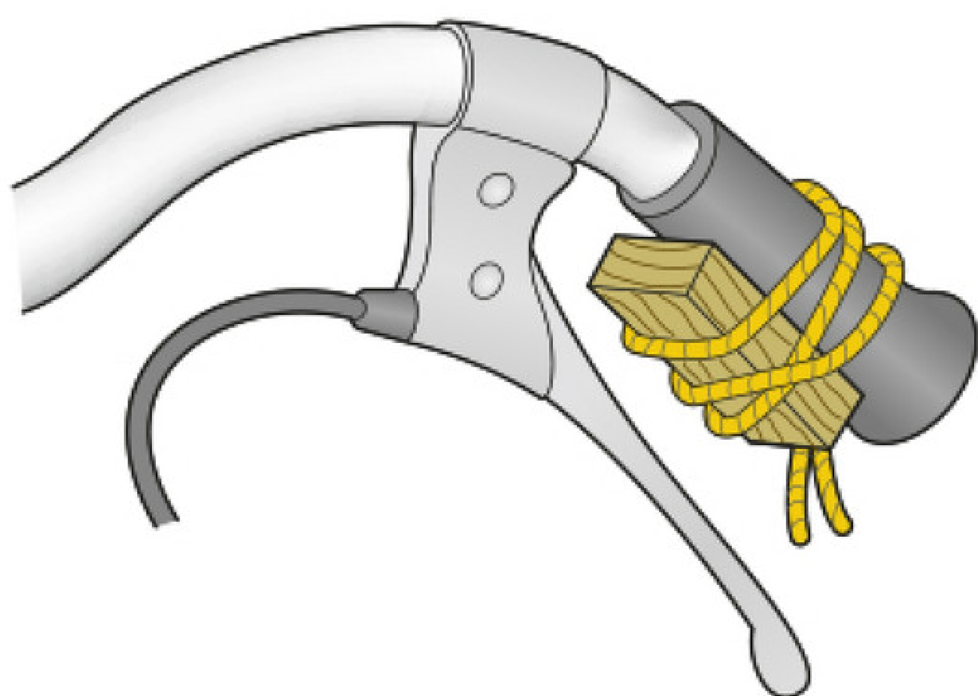
Doel
Je voert een onderzoek uit naar de remweg van een fiets. De onderzoeksvraag is:
Hoe hangt de remweg van je fiets af van de beginsnelheid (de snelheid op het moment dat je begint te remmen)?

Nodig
- ☐ stopwatch
- ☐ meetlint
- ☐ fiets met handremmen
- ☐ 2 houten blokjes
- ☐ touw
- ☐ grafiekpapier

Uitvoeren en uitwerken

Voorbereiden

- Je doet deze proef met z'n tweeën: leerling 1 fietst, leerling 2 neemt de tijd op en meet de remweg.
- Maak de blokjes vast aan je stuur, zoals in figuur 3 is getekend. Je kunt dan elke keer met dezelfde kracht afremmen.
- Zet op het schoolplein of op een stille weg een afstand uit van 10 m.



figuur 3 Zo kun je steeds met dezelfde kracht remmen.

Uitvoeren

- Leerling 1 rijdt met een constante snelheid over het traject van 10 m. Na het passeren van de 10-meterlijn remt hij meteen af, tot hij stilstaat.
- Leerling 2 meet de tijd waarin leerling 1 de 10 m aflegt. Na afloop meet hij hoe lang de remweg is.
- Voer de genoemde metingen uit bij vijf verschillende snelheden (van heel langzaam tot zo snel mogelijk).

1 Noteer alle meetgegevens in tabel 3: de tijd in de eerste kolom en de remweg in de derde kolom.

tabel 3 De meetresultaten van proef 4.

10-metertijd (s)	snelheid voor het remmen (m/s)	remweg (m)
–	0	0

Uitwerken

2 Bereken de snelheid vóór het remmen bij elke meting. Noteer die snelheid in de tweede kolom van de tabel.

3 Maak op grafiekpapier een grafiek van je waarnemingen waarin je de remweg uitzet tegen de beginsnelheid (de remweg langs de verticale as, de beginsnelheid langs de horizontale as).

PROEF 5 DE REACTIETIJD

15 minuten

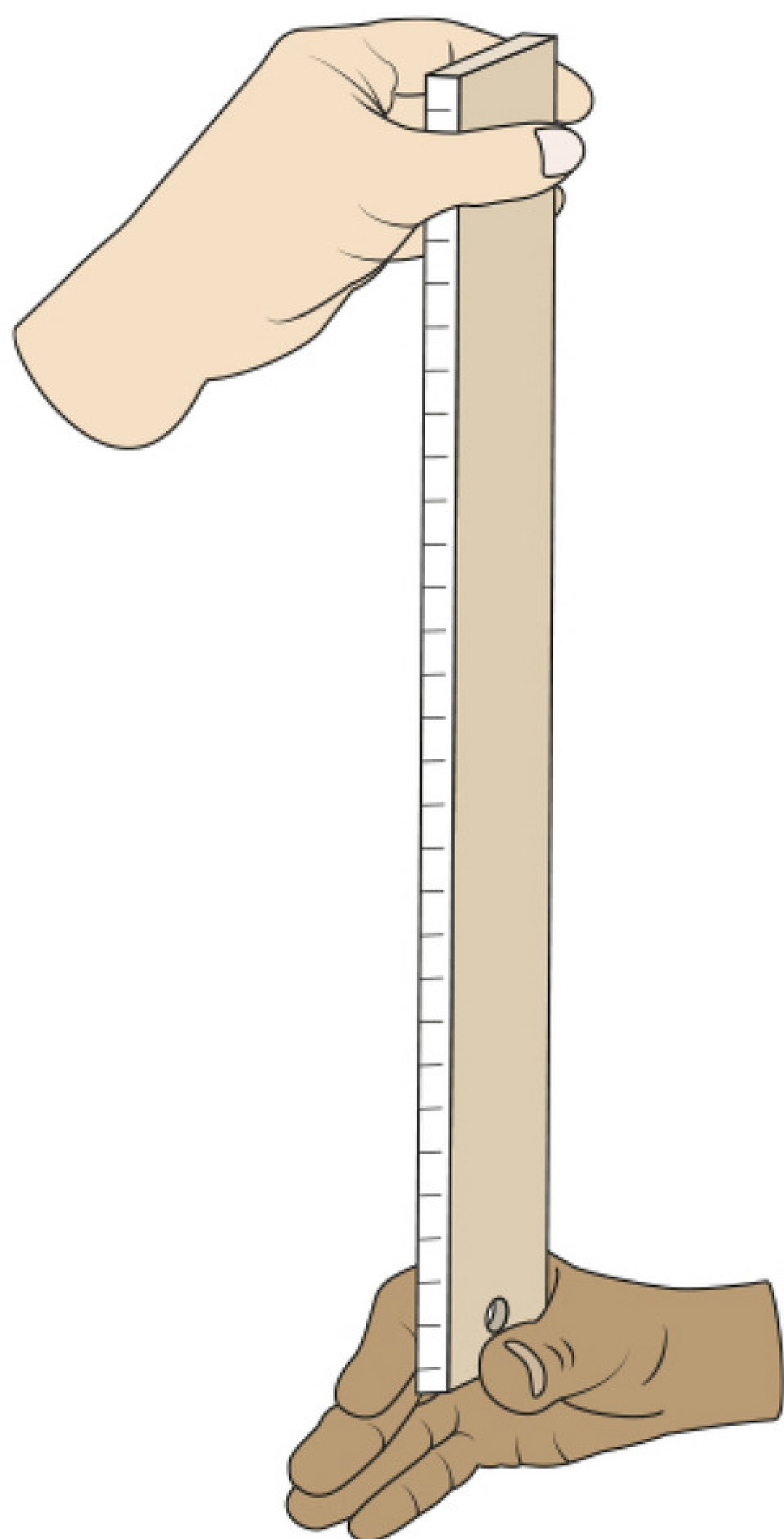
Inleiding
Je hebt het vast weleens meegemaakt: je fietst door een drukke straat en opeens rent iemand vlak voor je de weg op. Geschrokken knijp je de remmen in. Maar hoe snel je ook reageert, het duurt altijd even voordat je fiets begint te remmen. Die tijd tussen zien en remmen noem je de reactietijd.

Doel
Bij deze proef bepaal je hoe groot je eigen reactietijd is.

Nodig
☐ liniaal van 30 cm

Uitvoeren en uitwerken
Werkverdeling
Je voert deze proef met z'n tweeën uit. Leerling 1 is proefpersoon; leerling 2 is de tester. Halverwege de proef wissel je de rollen om.

Uitvoeren
- Leerling 2 houdt de liniaal bovenaan vast bij het 30 cm-streepje. Leerling 1 houdt duim en wijsvinger rond het 0 cm-streepje. Zie figuur 4.
- Opeens laat leerling 2 de liniaal los. De proefpersoon probeert de liniaal zo snel mogelijk met duim en wijsvinger te pakken.



figuur 4 Zo voer je proef 5 uit.

1 Noteer de valafstand in tabel 4. Deze afstand kun je direct op de liniaal aflezen.

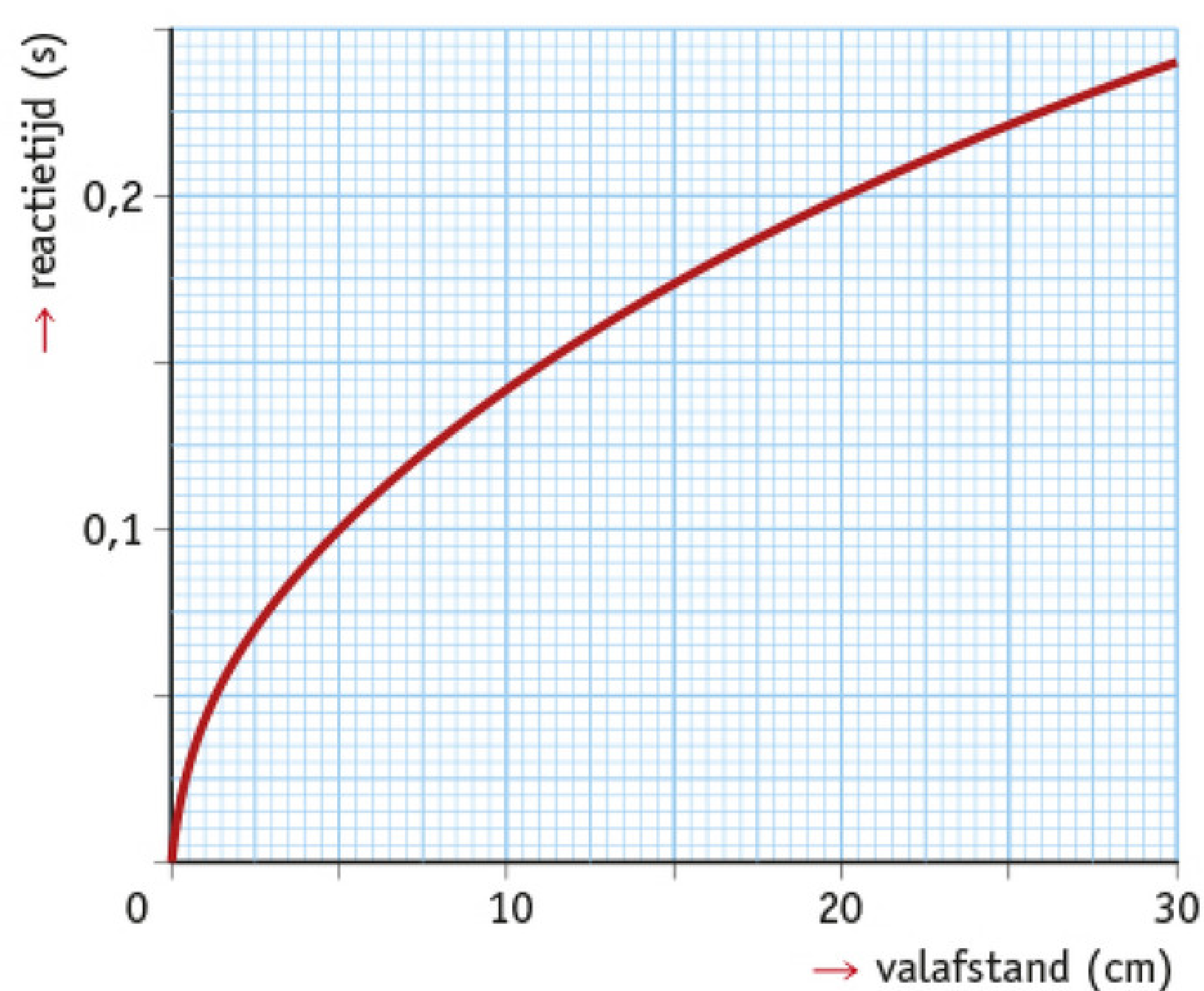
tabel 4 De meetgegevens van proef 5.

proefpersoon	valafstand (cm)	reactietijd (s)
leerling 1		
leerling 1		
leerling 1		
leerling 2		
leerling 2		
leerling 2		

- Doe deze proef in totaal drie keer. Wissel daarna de rollen om. Doe de proef nu drie keer met leerling 2 als proefpersoon.

Uitwerken

2 Zie figuur 5.
Lees bij elke valafstand de bijbehorende reactietijd af.
Noteer de reactietijd in de derde kolom van de tabel.



figuur 5 Het verband tussen de valafstand en de reactietijd.

3 Bereken hieronder de gemiddelde reactietijd:

a van leerling 1.

....

....

....

b van leerling 2.

....

....

....

4 Het is vaak belangrijk dat je een korte reactietijd hebt.
Noteer een situatie waarin dat belangrijk is:

a in het verkeer.

....

....

b in de sport.

....

....

PROEF 6 EEN ONDERZOEK UITVOEREN: DE LENGTE VAN DE REMWEG

45 minuten

Inleiding

Stel je voor: in een televisieprogramma beweert een verkeersdeskundige dat het gevaarlijk is om iemand achter op je fiets mee te nemen. Volgens deze persoon ben je niet alleen minder stabiel, maar is je remweg ook langer. Dat zal wel zo zijn, denk je, maar die remweg: zou dat nou echt zoveel uitmaken? Dat moet te onderzoeken zijn …

Doel

Je zoekt een antwoord op de onderzoeksvraag:
Met hoeveel procent neemt je remweg toe als je iemand achter op je fiets meeneemt?

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn? Tip: lees proef 4 nog eens door om op ideeën te komen.
- Bespreek met elkaar welke risico's zich zouden kunnen voordoen. Hoe kun je ervoor zorgen dat je deze proef veilig kunt uitvoeren?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten.

- Je docent vertelt je of je een verslag van deze proef moet maken.

PROEF 7 EEN MODEL VAN EEN KREUKELZONE ONTWERPEN

45 minuten

Inleiding

De kreukelzone van een auto vervormt gemakkelijk tijdens een botsing. Hierdoor wordt de 'remweg' voor de inzittenden langer gemaakt, zodat de klap van de botsing minder hard aankomt.

Doel

Je ontwerpt een model van een kreukelzone en probeert die uit.

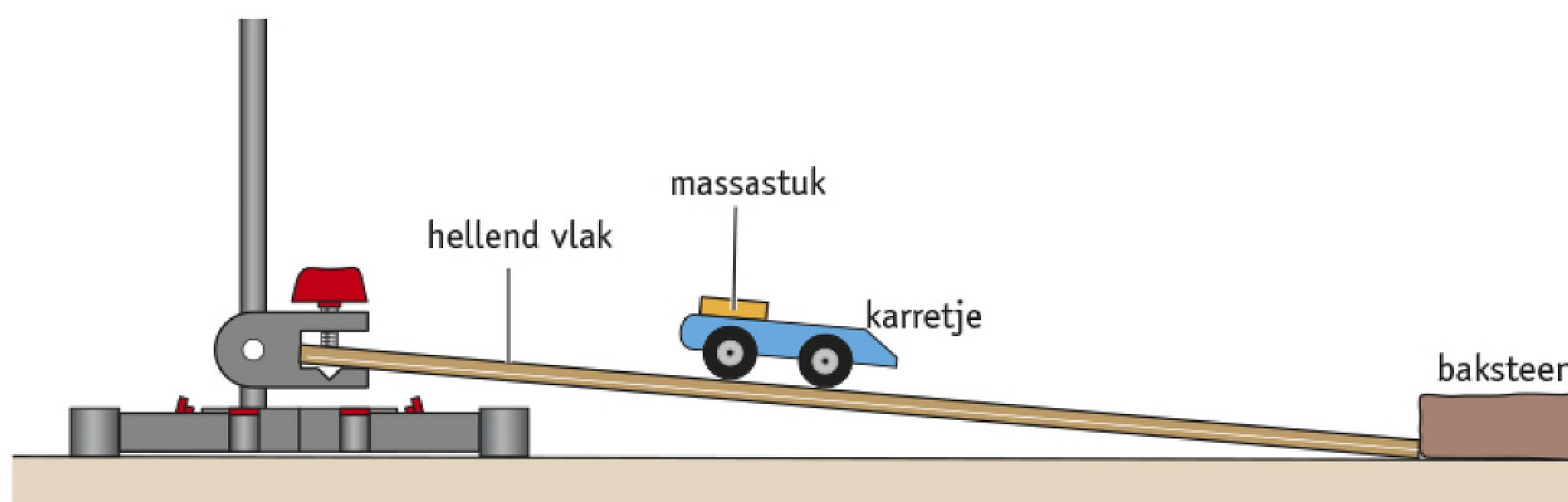
Nodig

- ☐ karretje
- ☐ hellend vlak
- ☐ baksteen
- ☐ massastuk
- ☐ liniaal
- ☐ verschillende materialen (papier, karton, aluminiumfolie, plakband, enzovoort)

Uitvoeren en uitwerken

Voorbereiden

- Maak de opstelling die in figuur 6 getekend is.
- Leg het massastuk los op het karretje.
- Laat het karretje naar beneden rijden en tegen de baksteen botsen.
- Meet hoeveel centimeter het massastuk verschoven is.
- Maak de hellingshoek kleiner als het massastuk meer dan 8 cm verschoven is. Maak de hellingshoek groter als het massastuk minder dan 6 cm verschoven is.
- Herhaal de proef tot de verschuiving uitkomt tussen de 6 en 8 cm.



figuur 6 De opstelling van proef 7.

Uitvoeren

- Bedenk hoe je een kreukelzone voor op het karretje kunt bouwen met de materialen die je tot je beschikking hebt.
- Bouw de kreukelzone en test hem uit. Je model moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen

- Door de kreukelzone wordt de verschuiving van het massastuk minstens twee keer zo klein.
- De kreukelzone heeft een zo klein mogelijke massa (want de auto mag beslist niet zwaarder worden dan nodig is).

- Verbeter je ontwerp, tot de kreukelzone aan de ontwerpeisen voldoet.
- Als je tijd genoeg hebt, kun je ook nog andere ontwerpen uitproberen. Probeer de hoeveelheid materiaal zo klein mogelijk te houden: hoe minder de kreukelzone weegt, hoe beter.

Presenteren

- Laat aan de klas zien hoe je kreukelzone eruitziet.
- Leg uit waarom je voor deze materialen en deze vorm gekozen hebt en hoe je het ontwerp hebt uitgetest en verbeterd. Als je verschillende ontwerpen hebt getest, vertel dan ook welke het best was en waarom.

Luchtacrobaten in slow motion



Een groep ganzen strijkt neer. Vlak voordat de vogels op het water landen, haalt een gans een verbluffend staaltje luchtacrobatiek uit. Het dier gaat op zijn rug vliegen, met de buik naar boven en de poten omhoog. Alleen de kop kijkt nog gewoon rechtuit, doordat de nek 180 graden is gedraaid. Het lijkt een unieke prestatie, maar niets is minder waar: een paar andere ganzen volgen meteen zijn voorbeeld.

Slow motion

Dat de vliegstunts van de ganzen in slow motion zijn vastgelegd, is te danken aan *De Vliegkunstenaars*, een uniek project van de Universiteit van Wageningen. Bij dit project werden hogesnelheidscamera's uitgeleend aan vrijwilligers: natuurliefhebbers, hobbyfotografen, kunstenaars en andere belangstellenden. Ze kregen de opdracht om opnames te maken van luchtacrobatiek in de natuur.

De deelnemers aan het project filmden de meest uiteenlopende onderwerpen. Zo werden er opnames gemaakt van een vlieg die een salto maakt, van mussen die een luchtgevecht houden en van een bij die tegen een hommel botst. Onderzoekers gebruiken de beelden om te bestuderen hoe vogels en insecten vliegen. Normaal bewegen de vleugels veel te snel om dat goed te zien.

Een gewone video-opname, zoals een filmpje op *YouTube*, bestaat uit 24 tot 30 beeldjes per seconde. Als je zo'n opname op de gewone snelheid bekijkt, zie je niet de afzonderlijke beeldjes, maar een vloeiend bewegend beeld. Dat verandert wanneer je de opname tien keer vertraagd afspeelt. Dan zie je een opeenvolging van losse beeldjes die niet de suggestie wekken van een vloeiende beweging.

Een hogesnelheidscamera is gemaakt om bewegingen vast te leggen die met het blote oog niet te volgen zijn (figuur 1). Daarom legt zo'n camera veel meer beeldjes vast dan een gewone videocamera. Een opname kan bijvoorbeeld uit 300 beeldjes per seconde bestaan. Als je zo'n opname dan tien keer vertraagd afspeelt, lijkt een seconde 10 seconden te duren. Omdat er bij het afspelen 300 : 10 = 30 beeldjes per seconde te zien zijn, ziet de beweging er toch vloeiend uit.



figuur 1 Een hogesnelheidscamera.

Het vertraagd maar vloeiend weergeven van bewegingen wordt *slow motion* genoemd. Slow motion is niet alleen nuttig in de wetenschap, om snelle bewegingen vast te leggen en te onderzoeken. De techniek wordt ook vaak in films gebruikt, bijvoorbeeld om een dramatische scène nog indrukwekkender te maken of om bij een actiescène ieder detail te laten zien.

Vliegkunstenaars

Voor het project *De Vliegkunstenaars* werden meer dan tweeduizend filmpjes gemaakt door 460 vrijwilligers. De filmpjes zijn vrij beschikbaar op het internet en kunnen gebruikt worden voor spreekbeurten, wetenschappelijk onderzoek en alles daartussenin! Daardoor kun je nu in alle rust genieten van de schitterende vliegbewegingen van alledaagse vliegkunstenaars om ons heen: van vlinder tot mus, van vleermuis tot helikopterzaadje.

Slowmotionopnames van vogels en insecten zijn enorm waardevol bij de zoektocht naar het optimale vleugelontwerp.

De opnames hebben allerlei nieuwe informatie opgeleverd. Het was bijvoorbeeld al langer bekend dat ganzen af en toe op hun rug vliegen, maar veel meer wisten de onderzoekers er niet van; de ganzen voeren de manoeuvre zo snel uit dat die met het blote oog bijna niet te volgen is. Door een van de vrijwilligers werd dit gedrag nu voor het eerst met een hogesnelheidscamera gefilmd. Dankzij hem is de hele vliegbeweging nu in slow motion te volgen.

De onderzoekers in Wageningen zijn er vooral in geïnteresseerd hoe vleugels van vogels en insecten bewegen tijdens het vliegen. Slowmotionopnames zijn voor hen onmisbaar. David Lentink, die het project heeft opgezet: "We hebben bijvoorbeeld opnames van een wesp. Die heeft twee vleugelparen, net als andere insecten. Maar tijdens het flappen, het opwarmen voor het vliegen, haken de vleugels in elkaar, waardoor ze effectief nog maar twee vleugels hebben. Dat had ik nog nooit gezien."

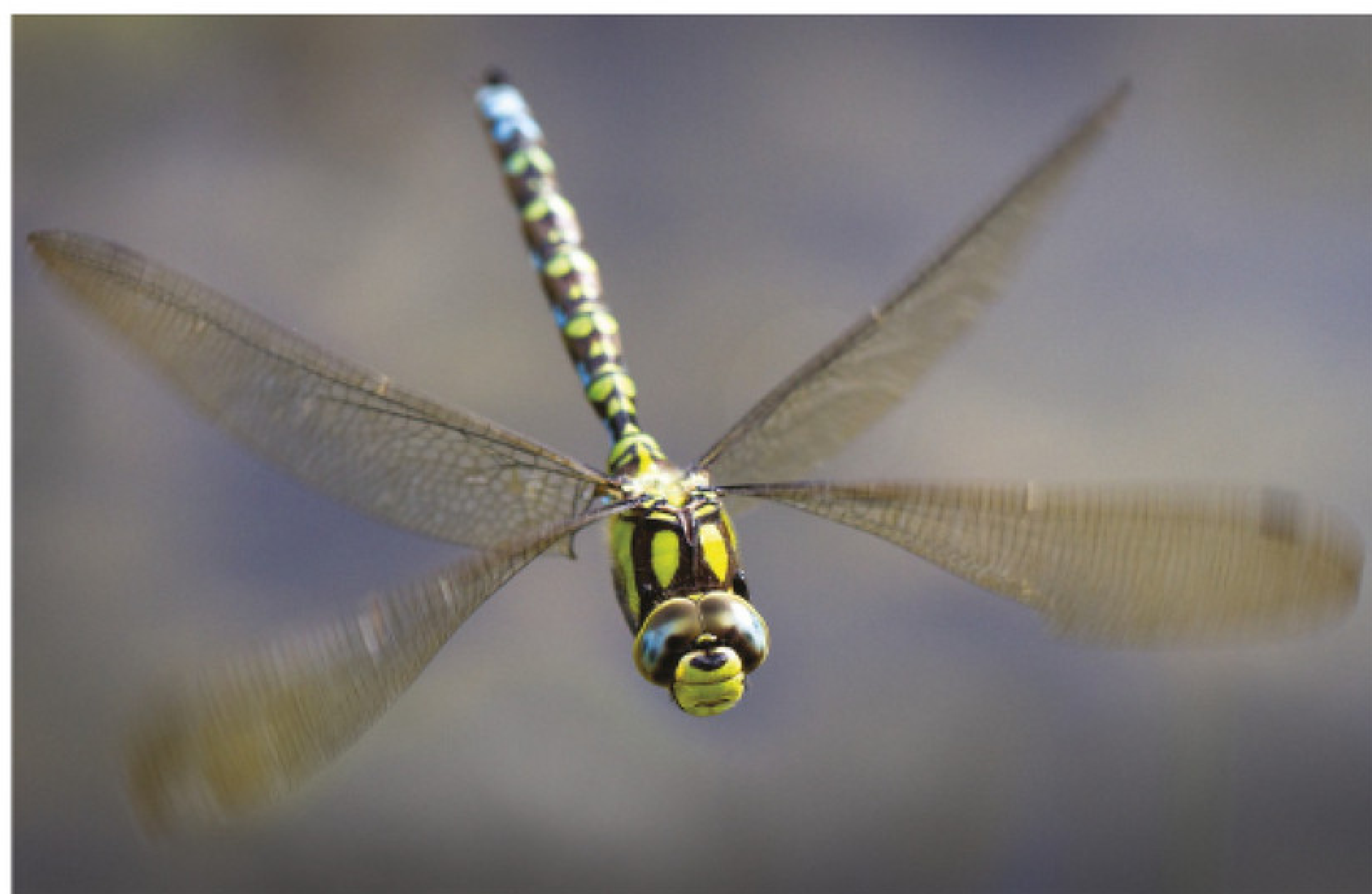
De vleugels van vogels en insecten functioneren heel anders dan de starre vleugels van een vliegtuig. Het zijn lichte, buigzame structuren die allerlei complexe bewegingen kunnen maken. De vleugels gaan tijdens het vliegen niet alleen op en neer, maar draaien ook en worden intussen op allerlei manieren vervormd. Al die bewegingen zijn wel effectief: veel vogels en insecten zijn echte luchtacrobaten, snel en enorm wendbaar.

Vliegen als een libel

Kennis zoals de onderzoekers in Wageningen die verzamelen, is niet alleen interessant voor natuurliefhebbers. Die kennis wordt tegenwoordig ook toegepast bij het ontwerpen van ultrakleine vliegtuigjes. De kleinste vliegtuigjes imiteren de manier van vliegen van vogels en insecten. Ze hebben geen grote vaste vleugels, zoals een gewoon vliegtuig, maar bewegende, flexibele vleugeltjes.

WEETJE

Een van de bekendste slowmotionscènes komt uit de film *The Matrix* (1999). In deze scène lijkt de camera om hoofdpersoon Neo heen te bewegen. Deze scène is niet gemaakt met één hogesnelheidscamera, maar met 120 verschillende camera's die ieder vlak na elkaar één beeldje opnamen.



figuur 2a Een libel.



figuur 2b De *DelFly Micro*.

Slowmotionopnames van vogels en insecten zijn enorm waardevol bij de zoektocht naar het optimale vleugelontwerp.

Die zoektocht begint inmiddels vruchten af te werpen, zoals het DelFly-project van de Technische Universiteit in Delft. Het project, dat in 2005 is gestart, heeft verschillende minivliegtuigjes opgeleverd, zoals de *DelFly Micro*, die met een lengte van 10 cm en een massa van 3 g vliegt als een libel (figuur 2). In 2018 werd de *DelFly Nimble* gepresenteerd, die in tegenstelling tot zijn voorgangers niet wordt bestuurd met besturingselementen op de staart of achter de vleugels (zoals je die van vliegtuigen kent). In plaats daarvan vindt de besturing uitsluitend plaats door de beweging van de klapperende vleugels aan te passen, precies zoals insecten dat doen. Doordat de *DelFly Nimble* geen staart meer heeft, is hij minder kwetsbaar en veel wendbaarder. Het ontwerpteam van de Technische Universiteit in Delft hoopt de brandweer te kunnen helpen bij het opsporen van brandhaarden in een gebouw of overlevenden in ingestorte gebouwen te kunnen vinden. Ook zou het robotje kunnen worden gebruikt door de politie om een huis in kaart te brengen voordat ze er een inval doet.

Inmiddels worden steeds meer robots ontwikkeld die vliegen als insecten of vogels. Aan de universiteit van Leuven in België ontwikkelde student Frederik Leys de *Kulibrie*, een vliegende robot van 4 g, geïnspireerd op de manier van vliegen van een kolibrie. In de Verenigde Staten is aan de universiteit van Harvard de *Robobee* ontwikkeld. Deze robot van minder dan 0,1 g kan vliegen, duiken en uit het water springen. Het is de bedoeling dat deze *Robobees*, net als bijen, zich samen als een kolonie gaan gedragen.

Zo blijken filmpjes die met een hogesnelheidscamera zijn gemaakt, niet alleen interessante beelden op te leveren, maar ook tot verrassende inzichten te leiden. In de toekomst kunnen ultrakleine vliegtuigjes allerlei taken uitvoeren waarvan we nu alleen nog maar kunnen dromen – op basis van de luchtacrobatiek van vogels en insecten.

KLAPPENDE WATERBALLON

Hogesnelheidscamera's worden ook voor allerlei ander onderzoek gebruikt. Er zijn bijvoorbeeld indrukwekkende filmpjes gemaakt van waterballonnen die knappen (figuur 3). Met het blote oog lijkt het alsof de ballon in één keer uit elkaar klapt en het water naar beneden valt. Met filmpjes die met heel hoge snelheid zijn opgenomen, is echter te zien dat de ballon eerst openscheurt en dat het water nog even in de vorm van de ballon blijft hangen.



figuur 3 Een klappende waterballon.

OPDRACHTEN

1 Een video is opgenomen met 450 beeldjes per seconde. De video wordt afgespeeld met 30 beeldjes per seconde.

a Hoeveel langzamer lijkt de beweging die op de video is vastgelegd?

b Er zijn al professionele camera's die kunnen filmen met een miljoen beeldjes per seconde.
Hoeveel langzamer lijkt de beweging van zo'n camera als die wordt afgespeeld met 30 beeldjes per seconde?

2 De camera's van het project *De Vliegkunstenaars* maken 600 beeldjes per seconde. Op een filmpje dat met zo'n camera gemaakt is, doet een hommel er 12 beeldjes over om 10 cm vooruit te komen.
Bereken de gemiddelde snelheid van de hommel. Geef je antwoord in m/s en in km/h.

3 De *DelFly Nimble* kan vijf minuten achter elkaar vliegen.
Leg uit wat de moeilijkheid is om zo'n klein vliegtuigje langer te laten vliegen.

Leerstofoverzicht

5.1 BEWEGINGEN VASTLEGGEN

ONTHOUD

- Bewegingen kun je vastleggen met een video-opname of een stroboscopische foto.
- De gegevens voor een plaats-tijdtabel haal je uit een video-opname of een stroboscopische foto. Je moet dan wel weten:
  - met welke tussenpozen de momentopnames zijn gemaakt;
  - hoe groot de afstanden op de beelden in werkelijkheid zijn.
- Een (*x*,*t*)-diagram is een afgekorte notatie voor een plaats-tijddiagram. Je kunt hierin de plaats van een voorwerp op elk tijdstip aflezen.
- Het verschil in plaats tussen twee meetwaarden noem je de afgelegde afstand.

BEGRIPPEN

afgelegde afstand
Verschil in afstand tussen twee meetwaarden. Het symbool voor afstand is *s*.

plaats-tijddiagram
Assenstelsel waarin de plaats (*x*) is uitgezet tegen de tijd (*t*).

plaats-tijdtabel
Tabel waarin de plaats (*x*) van een voorwerp op een aantal tijdstippen (*t*) is vastgelegd.

schaal
Verhouding tussen de werkelijke grootte van een voorwerp en de grootte waarop dit voorwerp op een afbeelding is weergegeven.

stroboscopische foto
Foto die is gemaakt in een verduisterde ruimte, met als enige verlichting een stroboscooplamp.

video-opname
Serie beelden die met korte tussenpozen is gemaakt.

(*x*,*t*)-diagram
Andere notatie voor een plaats-tijddiagram.

5.2 GEMIDDELDE SNELHEID

ONTHOUD

- De gemiddelde snelheid bereken je door de afgelegde afstand te delen door de benodigde tijd: $v_{gem} = \frac{s}{t}$.
- Een snelheid in m/s reken je om naar km/h door te vermenigvuldigen met 3,6. Een snelheid in km/h reken je om naar m/s door te delen door 3,6.
- De afgelegde afstand bereken je door de gemiddelde snelheid te vermenigvuldigen met de benodigde tijd: $s = v_{gem} \cdot t$.
- De benodigde tijd bereken je door de afgelegde afstand te delen door de gemiddelde snelheid: $t = \frac{s}{v_{gem}}$.
- Een (*v*,*t*)-diagram is een afgekorte notatie voor een snelheid-tijddiagram. Hierin kun je op elk tijdstip aflezen hoe groot de snelheid van een voorwerp is.
- Als de snelheid van een voorwerp gelijkmatig toe- of afneemt, kun je de gemiddelde snelheid berekenen met: $v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$.

BEGRIPPEN

gemiddelde snelheid
Afstand die is afgelegd gedeeld door de benodigde tijd.

snelheid-tijddiagram
Assenstelsel waarin de snelheid (v) is uitgezet tegen de tijd (t).

(v,t)-diagram
Andere notatie voor een snelheid-tijddiagram.

5.3 VERSNELD – EENPARIG – VERTRAAGD

ONTHOUD

- Als je fietst, is je snelheid niet steeds hetzelfde. Er zijn drie soorten bewegingen:
  - een beweging waarbij de snelheid steeds toeneemt noem je een versnelde beweging;
  - een beweging waarbij de snelheid niet verandert noem je een eenparige beweging;
  - een beweging waarbij de snelheid steeds afneemt noem je een vertraagde beweging.
- Een versnelde beweging herken je in een (x,t)-diagram aan een steeds steiler stijgende grafiek. In een (v,t)-diagram herken je deze beweging doordat de grafiek stijgt. Als die grafiek een stijgende rechte lijn is, dan is de beweging eenparig versneld.
- Een eenparige beweging herken je in een (x,t)-diagram doordat de grafiek een stijgende (of dalende) rechte lijn is. In een (v,t)-diagram herken je deze beweging doordat de grafiek horizontaal loopt.
- Een vertraagde beweging herken je in een (x,t)-diagram aan een steeds minder steil oplopende grafiek. In een (v,t)-diagram herken je deze beweging doordat de grafiek daalt. Als die grafiek een rechte dalende lijn is, dan is de beweging eenparig vertraagd.
- Als in een (x,t)-diagram de grafieken van twee voertuigen zijn gegeven, dan geeft het snijpunt aan waar de voertuigen elkaar inhalen of tegenkomen.

BEGRIPPEN

eenparig versnelde beweging
Beweging waarvan de snelheid gelijkmatig toeneemt.

eenparig vertraagde beweging
Beweging waarvan de snelheid gelijkmatig afneemt.

eenparige beweging
Beweging waarvan de snelheid constant is.

versnelde beweging
Beweging waarvan de snelheid toeneemt.

vertraagde beweging
Beweging waarvan de snelheid afneemt.

5.4 REMMEN EN BOTSEN

ONTHOUD

- De remweg van een auto hangt af van:
  - de beginsnelheid;
  - de massa;
  - de remkracht.
- De remkracht van een voertuig is afhankelijk van de toestand van de weg, de remmen en de banden.
- Voor de remweg geldt: als de snelheid n keer zo groot wordt, wordt de remweg n^2 keer zo lang.
- De reactietijd hangt af van de gesteldheid van de bestuurder (vermoeidheid) en het gebruik van alcohol/drugs.
- Tijdens de reactietijd beweegt het voertuig (vrijwel) eenparig (dus met de beginsnelheid). De afstand die het voertuig aflegt tijdens de reactietijd is de reactie-afstand.
- De stopafstand bereken je door de reactie-afstand en de remweg bij elkaar op te tellen: stopafstand = reactie-afstand + remweg.

BEGRIPPEN


reactie-afstand
Afstand die een voertuig aflegt tijdens de reactietijd.

reactietijd
Tijd tussen het zien van het gevaar en het aangrijpen van de remmen.

remweg
Afstand die een voertuig tijdens het remmen aflegt.

stopafstand
Totale afstand die een auto nodig heeft om tot stilstand te komen.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.



6 Licht

EEN WERELD VOL STRALING

Licht is niet alleen nodig om dingen te kunnen zien, maar zorgt ook voor kleur en sfeer. Lichtontwerpers en architecten gebruiken licht om bijvoorbeeld een spectaculaire lichtshow te creëren of om een stadscentrum aantrekkelijk uit te lichten. Astronomen kunnen uit het licht van een ster veel over die ster te weten komen.

INTRODUCTIE

THEORIE

PRAKTIJK

AFSLUITING



1 Licht en kleur

LEERDOELEN

6.1.1 Je kunt voorbeelden noemen van natuurlijke en kunstmatige lichtbronnen.
6.1.2 Je kunt beschrijven hoe je voorwerpen in je omgeving ziet.
6.1.3 Je kunt uitleggen wat een spectrum is en hoe je een spectrum zichtbaar maakt.
6.1.4 Je kunt benoemen tussen welke golflengten het gebied van het zichtbaar licht ligt.
6.1.5 Je kunt uitleggen hoe je een voorwerp met een bepaalde kleur ziet bij verschillende kleuren licht.
6.1.6 Je kunt uitleggen wat subtractieve en additieve kleurmenging is.
EXTRA 6.1.7 Je kunt twee eigenschappen beschrijven van de lichtbundel van een laser.

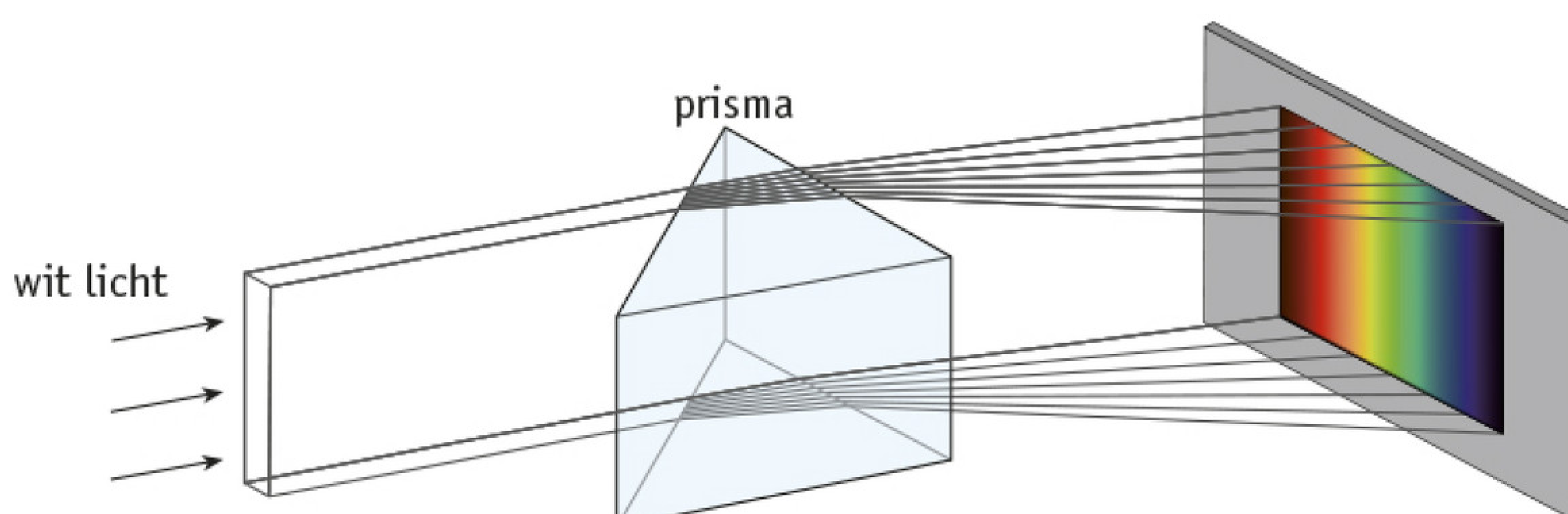
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN						
	6.1.1	6.1.2	6.1.3	6.1.4	6.1.5	6.1.6	6.1.7
Onthouden			1ac, 8a	1e	1bd		12ab
Begrijpen			8b		5abcdef	10b	13, 14a
Toepassen	2	3	8cd		4ab, 6, 7a	9abc, 10a	14d
Analyseren					7bc	10c, 11ab	14bc

Voor de meeste mensen is de zon vooral een bron van licht en warmte. Voor wetenschappers is de zon niet alleen een bron van plezier, maar ook van kennis. Ze onderzoeken het zonlicht om erachter te komen hoe heet het op de zon is, hoe het gas in de zon beweegt en welke stoffen de zon bevat.

HET LICHT VAN DE ZON

De zon is de belangrijkste **natuurlijke lichtbron** op aarde. Zonder zonlicht zou er zelfs geen leven op aarde mogelijk zijn.

Het witte licht van de zon bestaat uit alle kleuren van de regenboog. Dat kun je aantonen door zonlicht onder de juiste hoek op een driehoekig stuk glas te laten vallen. Zo'n stuk glas heet een **prisma** (Grieks voor 'het afgezaagde'). Op een scherm achter het prisma is dan een reeks kleuren te zien: rood, oranje, geel, groen, blauw en violet (figuur 1). Zo'n reeks kleuren wordt een **spectrum** genoemd.



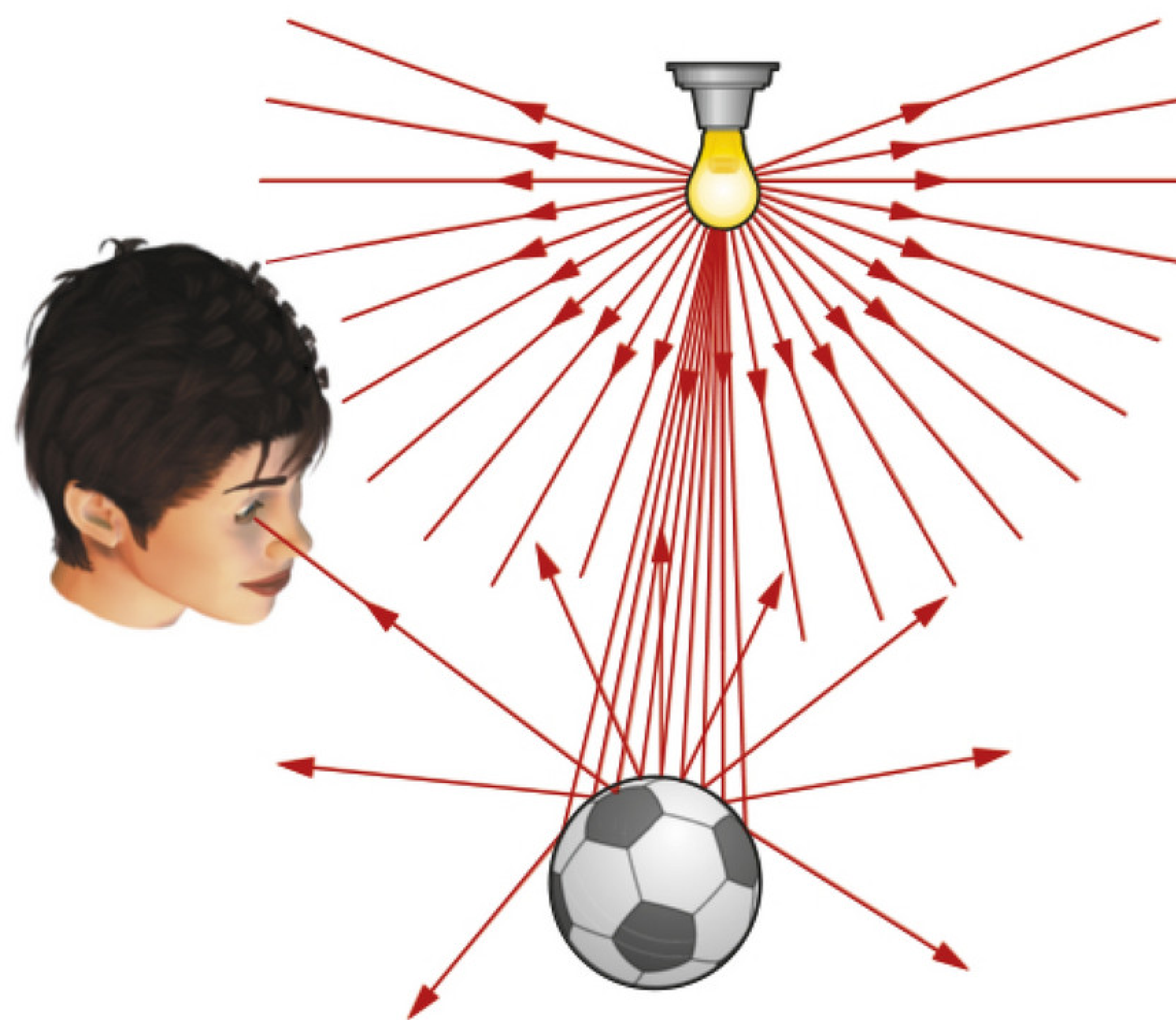
figuur 1 Een spectrum met een prisma maken.

Met een tweede prisma kun je de verschillende kleuren licht in het spectrum weer met elkaar mengen. Je krijgt dan het oorspronkelijke witte zonlicht terug. Met dit soort proeven kun je laten zien dat zonlicht een mengsel is van verschillende **spectraalkleuren**. Dat zijn de zuivere kleuren in het spectrum.

Licht kun je je voorstellen als golven die zich voortplanten door de ruimte. Mensenogen zijn alleen maar geschikt om straling te zien waarvan de golflengte ligt tussen 400 nanometer en 750 nanometer (een nanometer of nm is een miljardste meter). Dat is het gebied van het zichtbare licht. De kleur van licht hangt af van de golflengte. Rood licht heeft een golflengte van ongeveer 750 nm en violet licht van 400 nm. De golflengten van de andere kleuren liggen daartussenin.

JE OMGEVING ZIEN

De meeste dingen om je heen geven zelf geen licht. Je kunt ze alleen zien wanneer ze verlicht worden. Het licht dat op het voorwerp valt, wordt dan **diffuus teruggekaatst** (in alle richtingen). Je ziet het voorwerp alleen als een deel van dit teruggekaatste licht in je ogen terechtkomt (figuur 2).



figuur 2 Dankzij diffuse terugkaatsing kun je voorwerpen zien.

Overdag worden de dingen om je heen door de zon verlicht. Je ziet de wereld dan ‘in kleur’. De verschillende kleuren ontstaan doordat veel voorwerpen het zonlicht maar gedeeltelijk terugkaatsen. Zo weerkaatst een rood voorwerp vooral de spectraalkleur rood en een blauw voorwerp vooral de spectraalkleur blauw. Het overige licht wordt door het voorwerp **geabsorbeerd** en omgezet in warmte.

Witte voorwerpen kaatsen bijna al het zonlicht terug. Alle spectraalkleuren worden daarbij even sterk weerkaatst. Het teruggekaatste licht heeft daardoor dezelfde samenstelling als het oorspronkelijke zonlicht en dus zie je het voorwerp als wit. Zwarte voorwerpen kaatsen juist heel weinig licht terug, bijna al het zonlicht wordt geabsorbeerd. Er komt geen licht in je ogen en je ziet het voorwerp als zwart.

HET SPECTRUM VAN LAMPLICHT

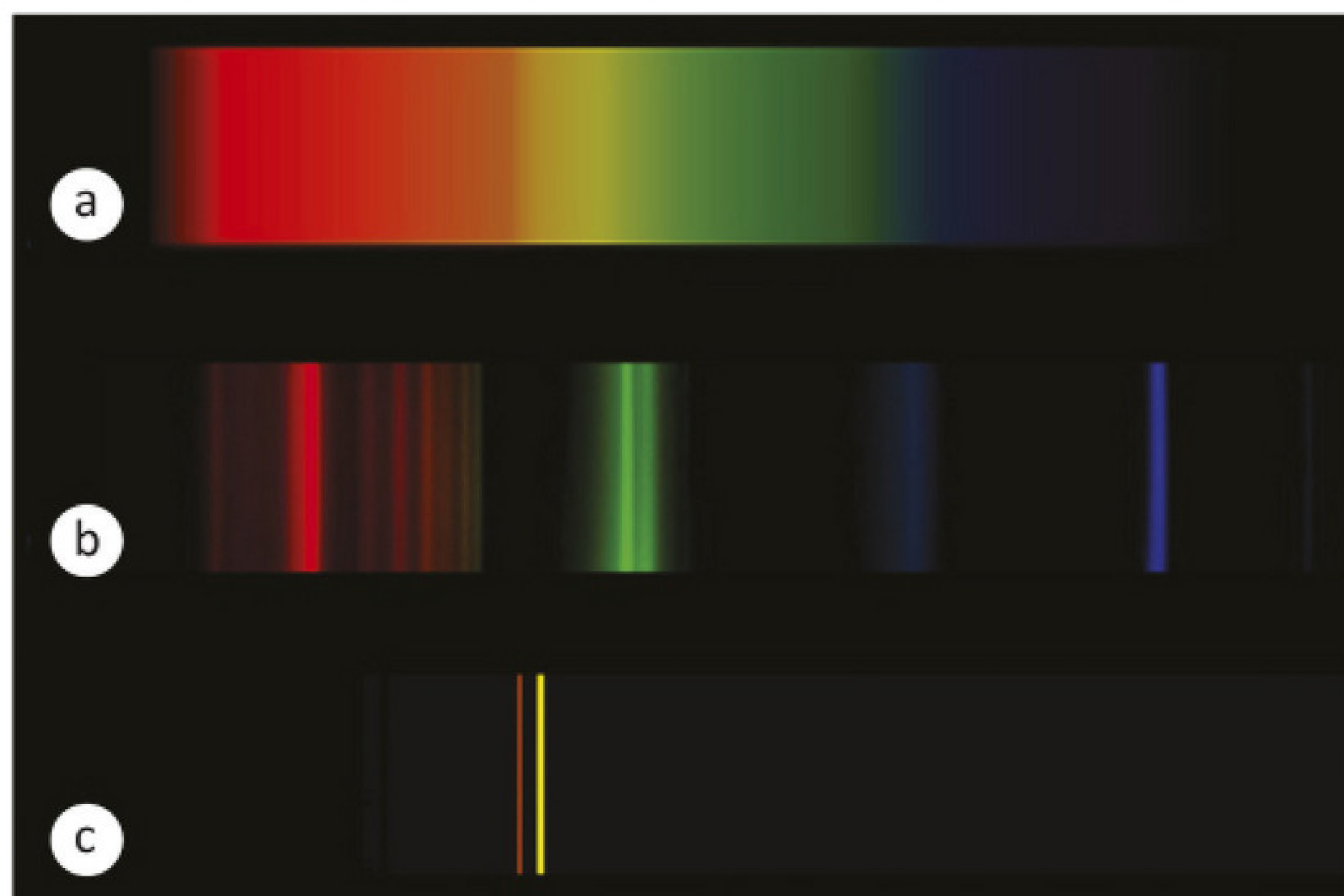
PROEF 1+2

Kaarsen, ledlampen en tl-buizen zijn **kunstmatige lichtbronnen**: ze zijn door de mens gemaakt. Ook deze lichtbronnen hebben een spectrum. Als je met een **spectroscoop** naar een lamp kijkt, zie je een spectrum van het lamplicht (figuur 3). Zo kun je vaststellen uit welke spectraalkleuren het licht van de lamp bestaat.



figuur 3 Zo gebruik je een spectroscoop.

Een halogeenlamp en een tl-buis geven allebei wit licht. Maar hun spectra zijn heel verschillend. Het spectrum van een halogeenlamp is heel gelijkmatig, net als dat van zonlicht (figuur 4a). In het spectrum van een tl-buis overheersen bepaalde spectraalkleuren (de heldere lijnen), terwijl andere spectraalkleuren heel zwak zijn (figuur 4b). Daardoor zien kleuren er in tl-licht anders uit dan in zonlicht. Sommige lichtbronnen geven maar één kleur licht af (figuur 4c).



figuur 4 Het spectrum van een halogeenlamp (a), een tl-buis (b) en een natriumlamp (c).

Bij het kiezen van lichtbronnen kijken mensen niet alleen naar de hoeveelheid licht; het is ook belangrijk welke kleur het licht heeft. Licht dat veel rood, oranje en geel bevat, maakt een warme indruk. Licht waar veel groen en blauw in zit, komt neutraal of zelfs koel over. Warm licht wordt veel toegepast in ruimtes waar het gezellig moet zijn. Voor een werkruimte wordt meestal gekozen voor helderwit, neutraal licht.

KLEUREN ZIEN

Er bestaan ook lichtbronnen die maar één kleur licht geven. Een natriumlamp geeft bijvoorbeeld licht met een zuiver gele kleur. Het spectrum bestaat slechts uit twee smalle lijntjes in het gele gebied (figuur 4c). Soms zie je ook nog een rood en een groen lijntje, die afkomstig zijn van het gas neon.

In het licht van een natriumlamp ziet de wereld er heel anders uit dan je gewend bent (figuur 5). Een paarse trui lijkt bijvoorbeeld donkergrijs of zwart. Dat komt doordat de trui het gele licht van de natriumlamp bijna volledig absorbeert. Een witte trui en een gele trui lijken onder een natriumlamp allebei geel. Het gele licht van de natriumlamp wordt door de twee truien even sterk teruggekaatst.



figuur 5 Dit straatje wordt verlicht door SOX-natriumlampen.

SUBTRACTIEVE EN ADDITIEVE KLEURMENGING

Een lcd-scherm is opgebouwd uit lichtgevende streepjes, puntjes of vierkantjes die **subpixels** worden genoemd. Wat hun vorm ook is, de subpixels hebben meestal dezelfde drie kleuren: rood, groen en blauw. Dat kun je zien als je een beeldscherm met een sterk vergrootglas bekijkt (figuur 6). Van een normale afstand bekeken smelten de afzonderlijke subpixels samen tot één beeld, met allerlei kleuren.

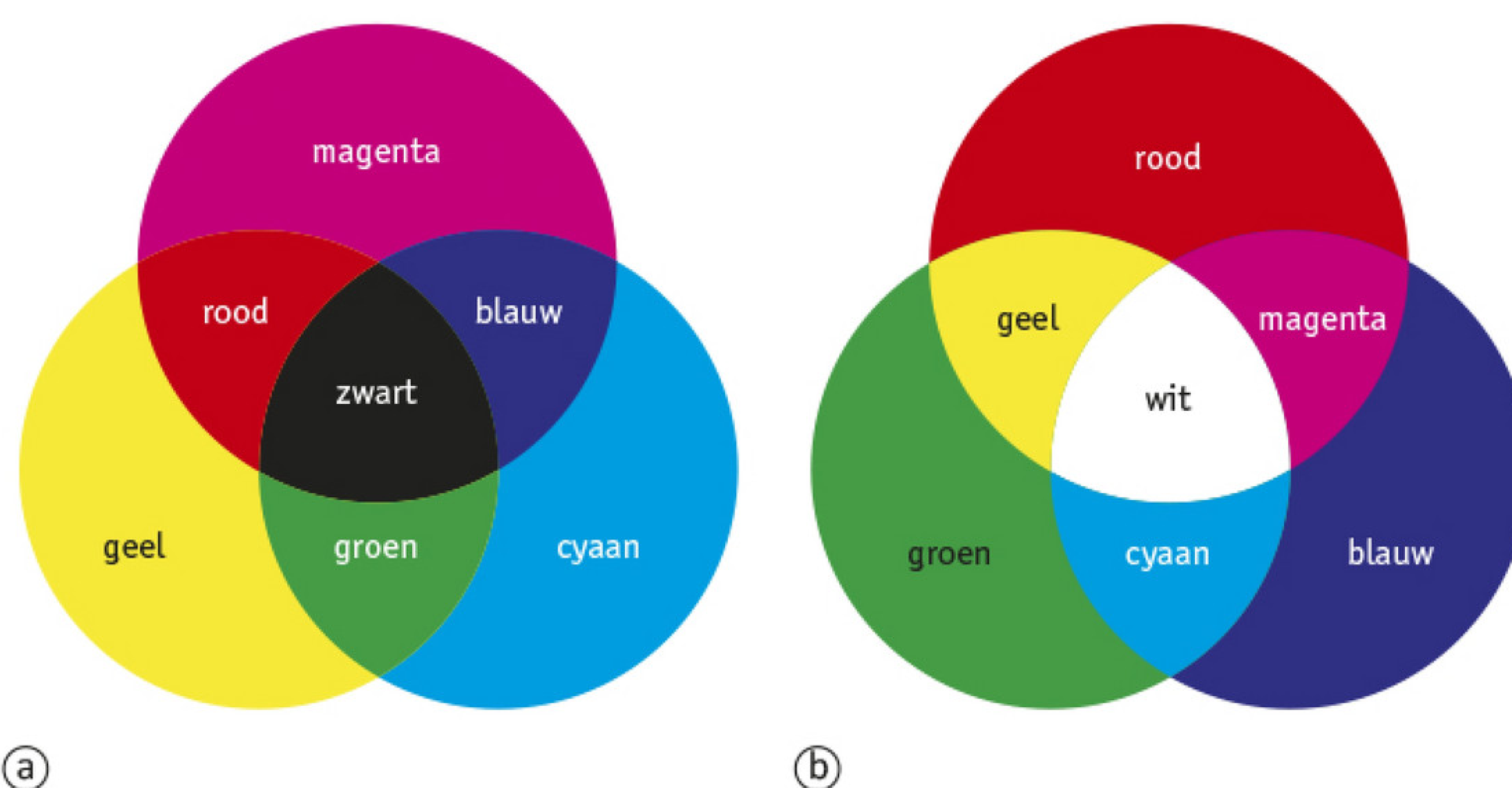
figuur 6 Subpixels van een lcd-scherm.



Elke subpixel kan apart in- en uitgeschakeld worden. In een rood stukje beeld lichten alleen de rode subpixels op, in een groen stukje beeld alleen de groene subpixels enzovoort. Andere kleuren worden gemaakt door rood, groen en blauw licht met elkaar te mengen. Dit heet **additieve kleurmenging**, waarbij kleuren toegevoegd worden. In figuur 7a zie je de drie primaire additieve kleuren (rood, groen en blauw) en de drie secundaire additieve kleuren (cyaan, magenta en geel).

Bij inkt van kleurenprinters werkt het anders. In de inkt zitten stoffen die bepaalde kleuren absorberen en andere kleuren juist weer doorlaten. De inkt werkt als een filter. Als wit licht op een wit vel papier valt met daarop gele inkt, wordt blauw licht geabsorbeerd. Dit zien wij als geel licht. Door verschillende kleuren inkt te mengen kun je andere kleuren maken. Dit is **subtractieve kleurmenging**, waarbij de primaire en secundaire kleuren precies tegenovergesteld zijn aan die van additieve kleurmenging (figuur 7b). Een toepassing hiervan is een afgedrukte foto op papier. De printer gebruikt heel kleine druppeltjes inkt in de primaire kleuren geel, cyaan en magenta. Hiermee kan de printer alle kleuren maken.

figuur 7 Additieve en subtractieve kleuren.



Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA LASERS

Een laser geeft licht van maar één spectraalkleur. Die kleur hangt af van het soort laser: een neonlaser bijvoorbeeld geeft licht met een zuiver rode kleur. Licht met maar één spectraalkleur heet monochromatisch. De lichtbundel van de laser heeft nog een andere, unieke eigenschap. Het is een heel smalle, evenwijdige lichtbundel die ook over grote afstanden bijna niet breder wordt – niet divergeert (figuur 8). Er zijn laserbundels waarmee onderzoekers op de maan kunnen schijnen. Daar staat sinds 1969 een spiegel die de bundel terugkaatst naar de aarde. Uit de tijd die de bundel onderweg is, kan dan de afstand van de maan tot de aarde heel precies berekend worden.



figuur 8 Laserstralen vertonen geen divergentie.

Toen de laser ontwikkeld was, besefte men nog niet wat je er buiten de wetenschap mee zou kunnen doen. Het waren grote en dure apparaten. Tegenwoordig kun je voor een paar euro een laserpen kopen. Lasers worden nu gebruikt voor lasershows en om metaal en stoffen te snijden. Maar er zijn meer toepassingen: makelaars en aannemers meten er bijvoorbeeld afstanden mee. Ook zijn ze onmisbaar in blu-rayspelers.

Pas op met lasers. Alle lasers kunnen gevaarlijk zijn: als je langere tijd laserlicht in je ogen krijgt, kan dat je ogen beschadigen.

1 Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Uit welke zes spectraalkleuren bestaat het spectrum van zonlicht?
- **b** Wat doet een zwart voorwerp met zonlicht dat op het voorwerp valt?
- **c** Met welk instrument kun je het spectrum van een lichtbron onderzoeken?
- **d** Hoe ziet een wit voorwerp eruit onder het licht van een natriumlamp?
- **e** Tussen welke waarden liggen de golflengten van zichtbaar licht?

2 Een fotograaf die foto's van kleding voor een website maakt, gebruikt daglichtlampen. Deze lampen geven dezelfde kleur licht als de zon overdag.
Noteer twee redenen waarom de fotograaf deze lampen gebruikt en niet gewoon de zon.

3 Alex ziet een groene appel op tafel liggen.
Maak een tekening waarin je uitlegt hoe het komt dat Alex de appel kan zien. Leg ook uit waarom hij de appel als een groen voorwerp ziet.

4

In tabel 1 staan vier verschillend gekleurde T-shirts en twee verschillende lampen: een die zuiver rood licht geeft en een die zuiver groen licht geeft.
Vul de tabel in en noteer:
a een + als het T-shirt het licht grotendeels terugkaatst;
b een − als het T-shirt het licht grotendeels absorbeert.

tabel 1 Teruggekaatst of geabsorbeerd.

kledingstuk	zuiver rood licht	zuiver groen licht
wit T-shirt		
groen T-shirt		
rood T-shirt		
zwart T-shirt		

5

Vergelijk de twee foto's van Marinda in figuur 9.
a Welke foto is genomen bij helderwit daglicht?
b Bij wat voor licht is de andere foto genomen?
c Op welke foto zijn de kleuren zoals ze echt zijn?
d Wat is de echte kleur van het koffiekopje van Marinda?
e Welke kleur heeft het koffiekopje op de andere foto?
f Waardoor wordt die afwijkende kleur veroorzaakt?




figuur 9 Twee foto's van Marinda.

6

Waarom zal een tekenaar van stripverhalen boven zijn werktafel een lamp hebben hangen die helderwit, neutraal licht geeft?

★ 7

Vroeger werden parkeerterreinen vaak verlicht door natriumlampen. Tegenwoordig wordt dit soort lampen steeds minder gebruikt, omdat de kleurherkenning bij dit soort lampen erg slecht is.
Leg uit hoe het komt:
a dat kleuren bij het licht van deze lampen niet te herkennen zijn.
b dat dit problemen geeft op grote parkeerplaatsen met veel auto's.
c dat mensen zich bij het licht van deze lampen eerder onveilig voelen.

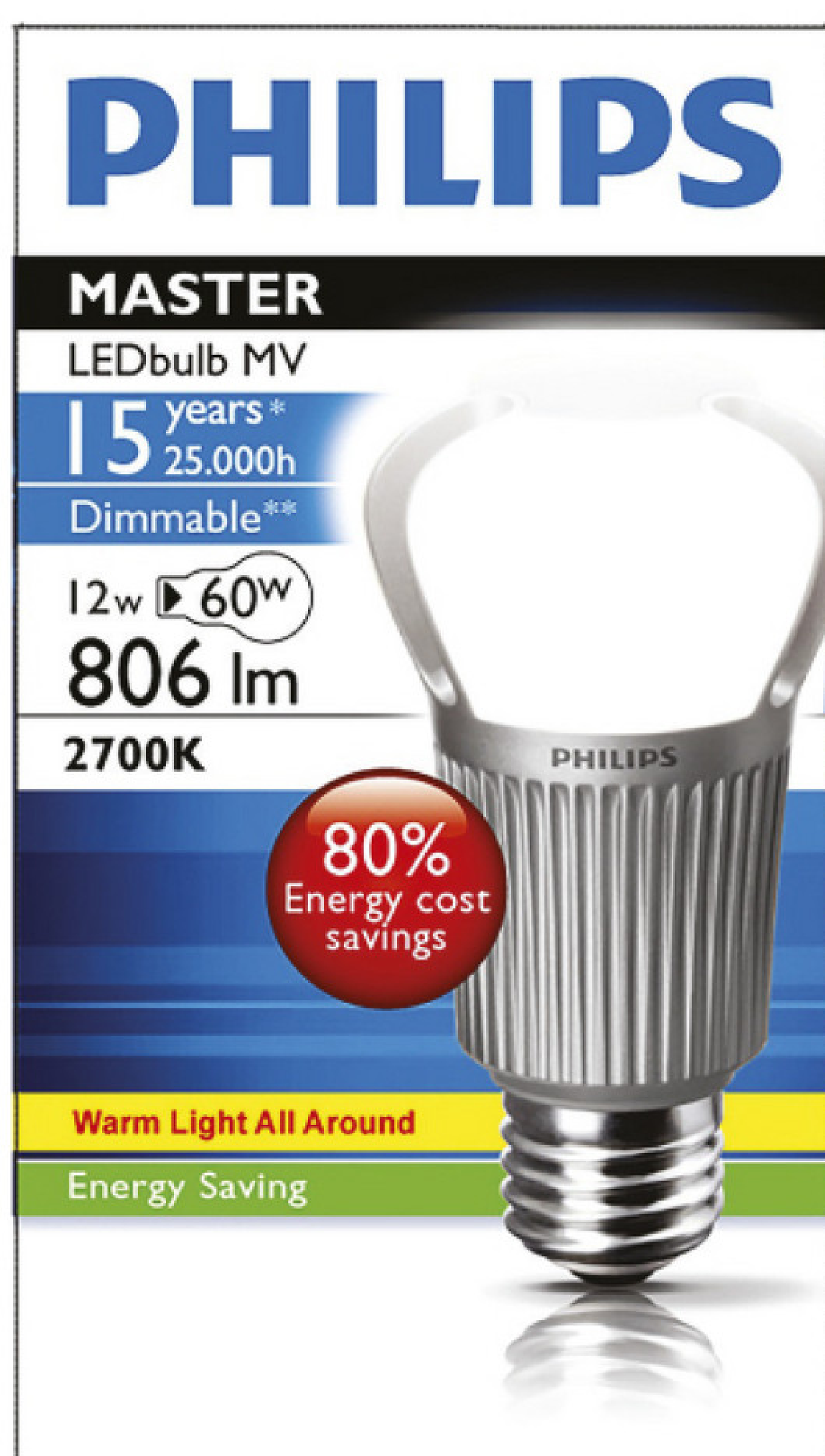
8 Op de verpakking van lampen staat vaak de kleurtemperatuur vermeld. Daaraan kun je zien wat voor kleur het licht van de lamp heeft. De kleurtemperatuur wordt gemeten in kelvin (K). Licht met een lage kleurtemperatuur (bijvoorbeeld 3000 K) is warmer van kleur. Licht met een hoge kleurtemperatuur (bijvoorbeeld 6500 K) is koeler van kleur.

a Welke kleurtemperatuur staat vermeld op de verpakking in figuur 10?
b Wat voor indruk maakt het licht van deze lamp: warm, neutraal of koel?
c Is het licht van deze lamp geschikt om een knusse sfeer te scheppen? Leg uit.
d Op de achterkant van de verpakking staat de 'CRI-waarde'. Deze waarde geeft aan hoe een lichtbron in staat is een verlicht object natuurgetrouw weer te geven. Een hoog getal staat voor een betere kleurweergave (tabel 2). Deze lamp heeft een CRI-waarde van >80.
Is het licht van deze lamp geschikt om er kleuren bij te beoordelen? Leg uit.

tabel 2 Kleurweergave.

CRI-waarde	categorie	omschrijving
100-90	uitstekend	natuurgetrouwe kleurweergave
90-80	goed	kleurweergave relatief natuurgetrouw
80-60	matig	kleurweergave kan afwijken van kleurechtheid
<60	slecht	kleurweergave wijkt af van kleurechtheid; toepassen waar kleurweergave niet van belang is (bijvoorbeeld. buitenverlichting)

Naar: lumeco.nl



figuur 10 Gedeelte van de verpakking van een ledlamp.

9 Door de verhoudingen tussen kleuren te veranderen, kun je meer kleuren maken dan in figuur 7 te zien zijn.

a Hoe maak je met licht een kleur die tussen cyaan en blauw in zit?
b Hoe krijg je met inkt mengen oranje?
c Hoe maakt een beeldscherm de grijze delen van het beeld?

★ 10

Lees de tekst in figuur 11 over de RGB-code.

a Welke kleur hoort bij elke RGB-code?
(255, 0, 0)
(0, 255, 0)
(255, 255, 0)
(255, 255, 255)
(128, 128, 128)
(128, 128, 255)
Gebruik de optie ‘kleuren bewerken’ in een programma zoals Paint om je antwoorden te controleren.

b De RGB-code is speciaal ontworpen om beeldschermkleuren mee te beschrijven. Waaruit blijkt dat?

c Bereken hoeveel mogelijke kleuren een pixel kan hebben?

figuur 11 De RGB-code van een kleur.

De RGB-code

In computerprogramma’s zoals Paint en Photoshop heeft elke kleur een code. Deze code wordt de RGB-code genoemd, van rood (R), groen (G) en blauw (B). Elke RGB-code bestaat uit drie getallen, van 0 tot 255. Deze getallen geven aan hoeveel rood, groen en blauw er in de kleur zit. Hoe groter het getal, des te meer rood, groen of blauw er is gebruikt.



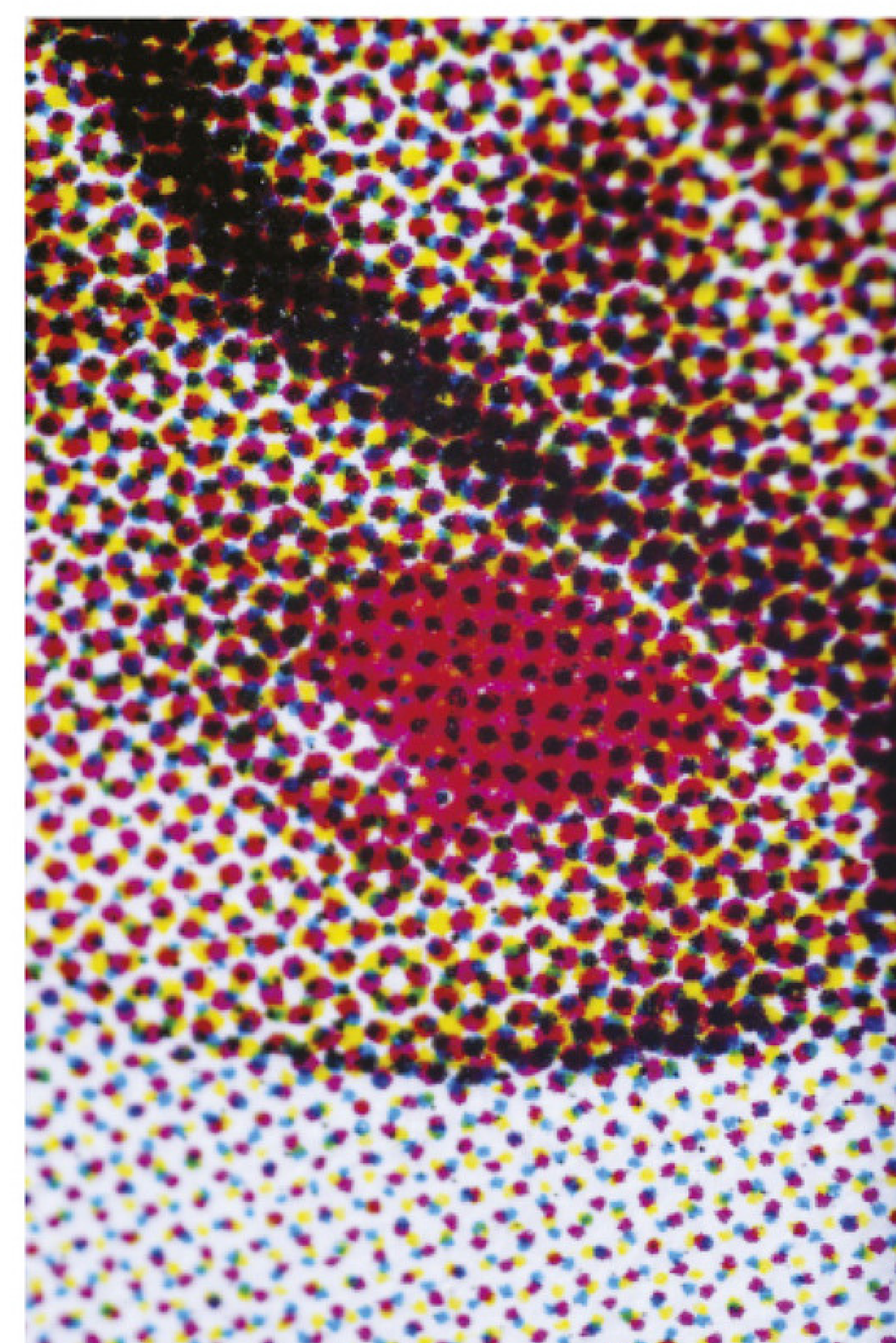
Fel rood is in RGB-code (255, 0, 0): veel rood (255), geen groen (0) en geen blauw (0).
Helder violet is (255, 0, 255): veel rood (255), geen groen (0) en veel blauw (255).
Zwart is (0, 0, 0): geen rood, geen groen en geen blauw.

★ 11

De meeste printers hebben naast de drie basiskleuren ook zwarte inkt. De zwarte inkt wordt dan voor zwarte tekst en zwart-witfoto’s gebruikt.

a Waarom wordt er zwarte inkt gebruikt voor tekst en niet de drie basiskleuren vlak naast elkaar?

b Als je een afdruk maakt met een printer, moet je ook het soort papier aangeven. Iedere papiersoort heeft een andere absorptie van de inkt. Mat papier absorbeert de inkt veel meer dan glanspapier. Bij glanspapier blijft de inkt meer op het papier liggen, waardoor de kleuren duidelijker zichtbaar zijn. In figuur 12 zie je inktdruppeltjes op papier.
Leg uit waarom kleuren duidelijker zichtbaar worden met glans papier.



figuur 12 Inktdruppels op papier.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA LASERS

12 Laserlicht wordt op veel manieren gebruikt.

a Noteer twee kenmerken van laserlicht.

b Noteer drie toepassingen van laserlicht.

13 Leg uit hoe het komt dat de laserstraal in figuur 8 duidelijk zichtbaar is.

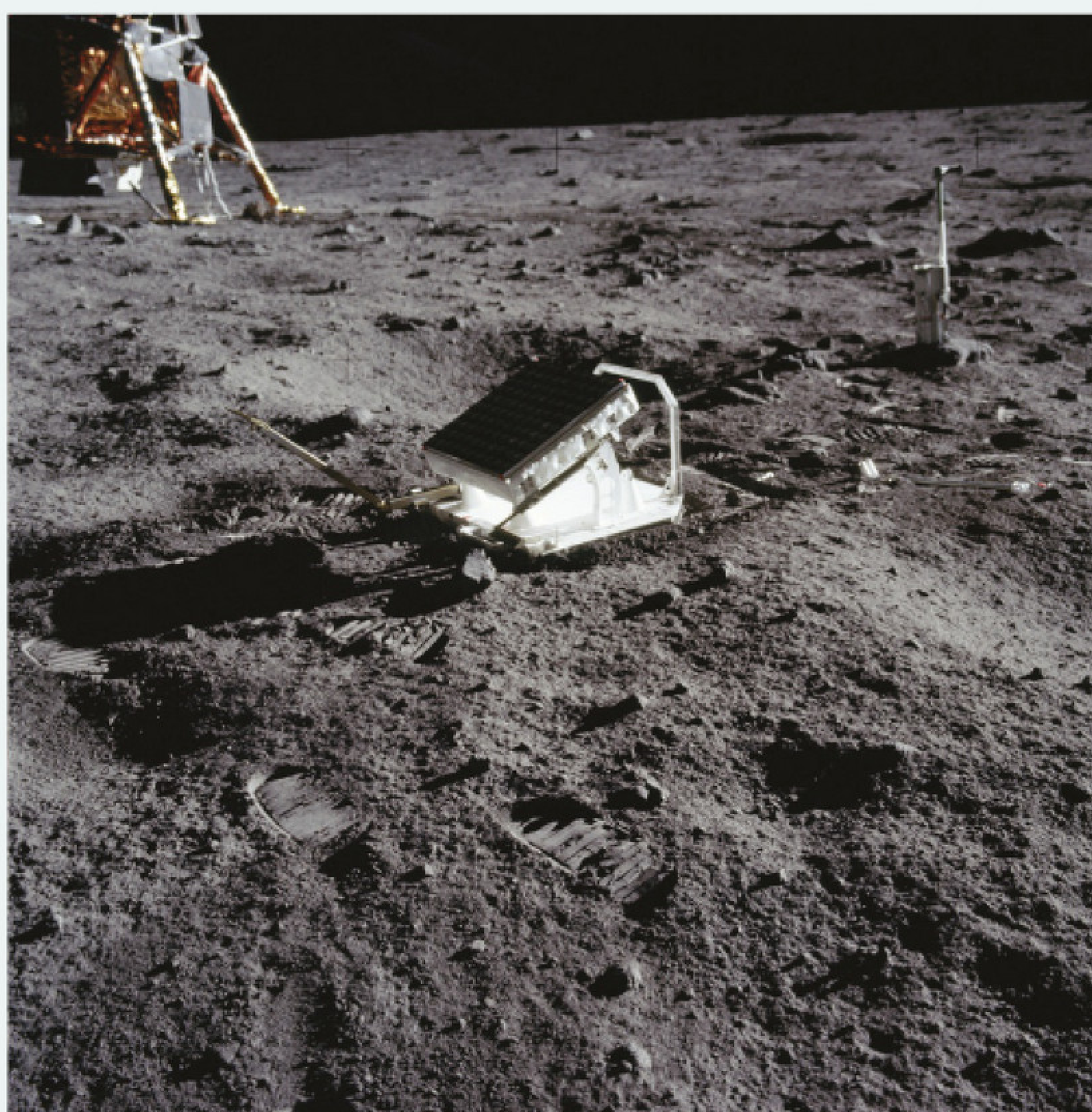
★ 14 Astronauten hebben in het verleden spiegels op de maan geplaatst (figuur 13). Een sterke laser schijnt vanaf de aarde op de spiegel en die kaatst het licht terug naar de aarde. Daarmee kan de afstand tussen maan en aarde op 1 mm nauwkeurig gemeten worden.

a De astronauten die in het ruimtestation ISS naar buiten kijken, zullen deze laserstraal nooit kunnen zien. Leg uit hoe dat komt.

b Leg uit hoe men met deze lasertechniek de afstand tot de maan kan bepalen.

c Leg uit waarom dat maar op bepaalde momenten kan.

d De snelheid van het licht is 299 792 km/s. Bereken de afstand aarde-maan als de teruggekaatste straal na 2,51030 s terugkomt op aarde.



figuur 13 Een spiegel op de maan.

2 Reflectie en verstrooiing

LEERDOELEN

6.2.1 Je kunt uitleggen wat een evenwijdige, divergente en convergente lichtbundel is.
6.2.2 Je kunt uitleggen hoe je de grootte van een schaduwgebied bepaalt.
6.2.3 Je kunt bepalen in welk gebied zich de halfschaduw en de kernschaduw bevinden.
6.2.4 Je kunt het verschil tussen direct, indirect en diffuus licht uitleggen.
6.2.5 Je kunt uitleggen wat reflectie en verstrooiing zijn.
EXTRA 6.2.6 Je kunt uitleggen hoe de blauwe kleur van de hemel en de rode kleur van de ondergaande zon worden veroorzaakt.

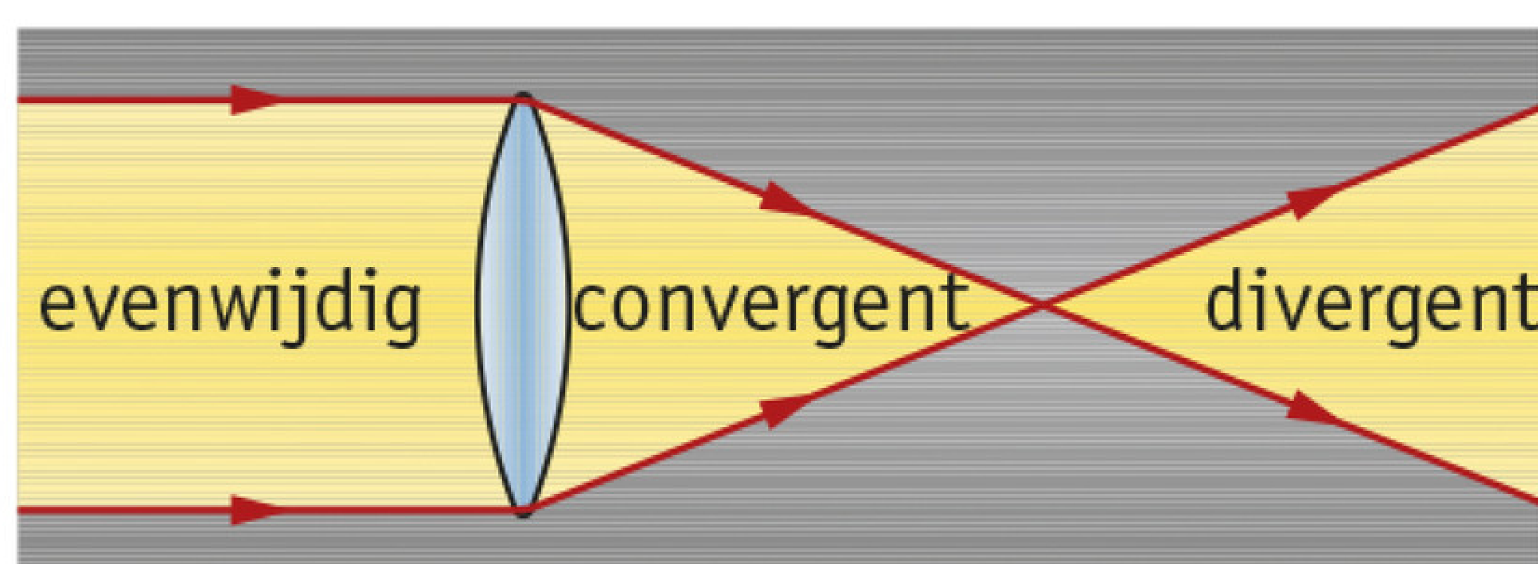
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN						
	6.2.1	6.2.2	6.2.3	6.2.4	6.2.5	6.2.6	6.1.2*
Onthouden	1a	2a	2bc	1b	1c, 8a	10abc	
Begrijpen		3, 7a	2d, 5e	6b	8b	11a	6a
Toepassen		4ab, 5ab, 7bd, 9bd	5cd		6c, 8c		
Analyseren		7c, 9ace			8de	11b	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

Op een hete zomerdag komt het licht op het strand van alle kanten: rechtstreeks van de zon, weerkaatst door het zand en de zee, verstrooid door de lucht boven je hoofd. Zelfs in de schaduw heb je nog een zonnebril nodig om niet met toegeknepen ogen te hoeven rondkijken.

LICHT EN SCHADUW

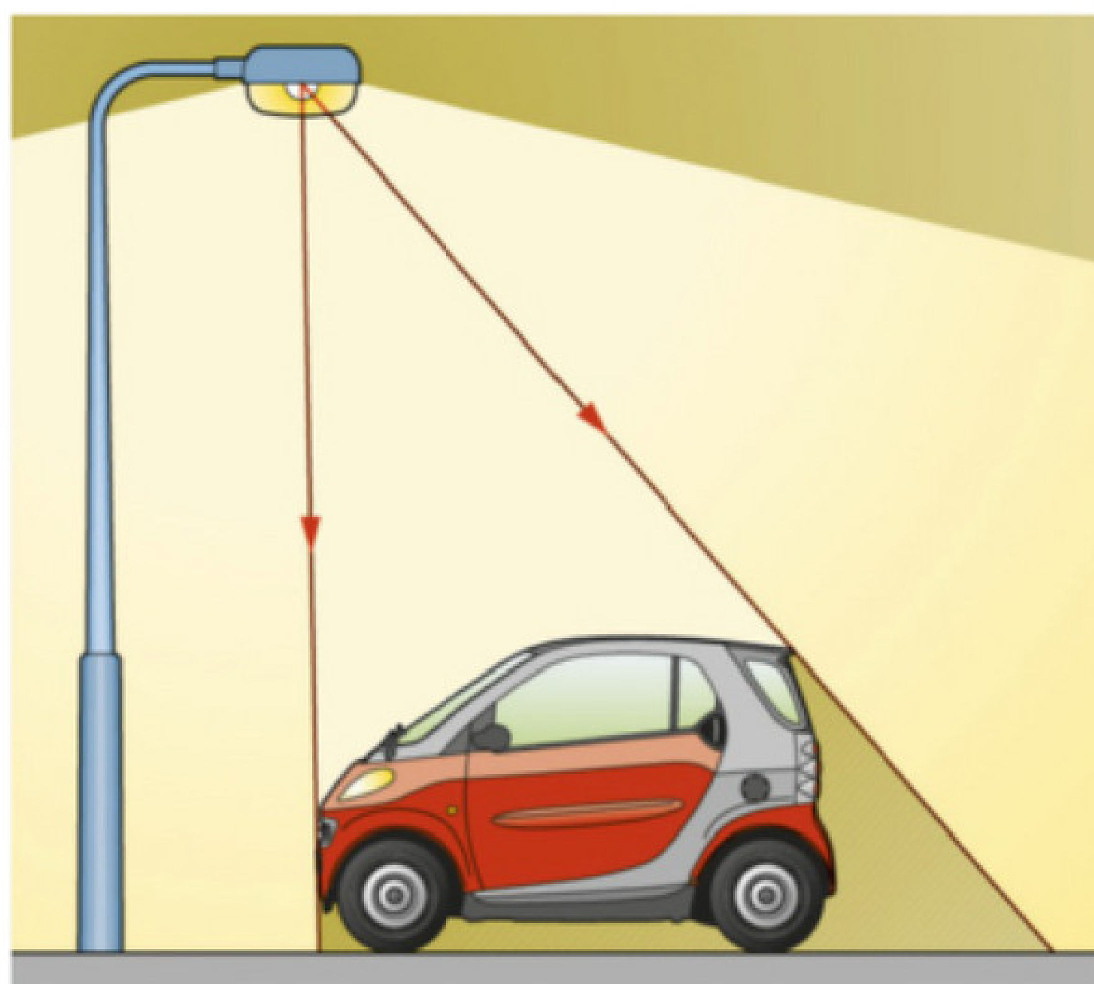
Het licht dat door een lichtbron wordt uitgestraald, beweegt alle kanten op. Dat kun je aangeven door **lichtstralen** te tekenen. Die lichtstralen zijn recht, want licht beweegt langs rechte lijnen. Een verzameling lichtstralen wordt een lichtbundel genoemd. Soms is een **lichtbundel evenwijdig** (figuur 1), maar meestal lopen de lichtstralen uit elkaar. Dan is de **lichtbundel divergent** en wordt het licht steeds zwakker. Als lichtstralen naar elkaar toe gaan, heet de **lichtbundel convergent**. Dan wordt het licht steeds sterker.



figuur 1 Met een lens maak je van een evenwijdige lichtbundel een convergente bundel die overgaat in een divergente bundel.

Als een voorwerp het licht van de lichtbron gedeeltelijk tegenhoudt, ontstaat er een **schaduw**. Er is dan een gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen. Omdat licht langs rechte lijnen beweegt, kun je de grootte van het schaduwgebied eenvoudig bepalen (figuur 2):

1 Teken de twee lichtstralen die net niet door het voorwerp worden tegengehouden, de **randstralen**.
2 Arceer het gebied achter het voorwerp dat tussen de twee randstralen in ligt. Dit is het gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen: het schaduwgebied.



figuur 2 Zo teken je de schaduw van een voorwerp.

DIRECT LICHT

PROEF 3

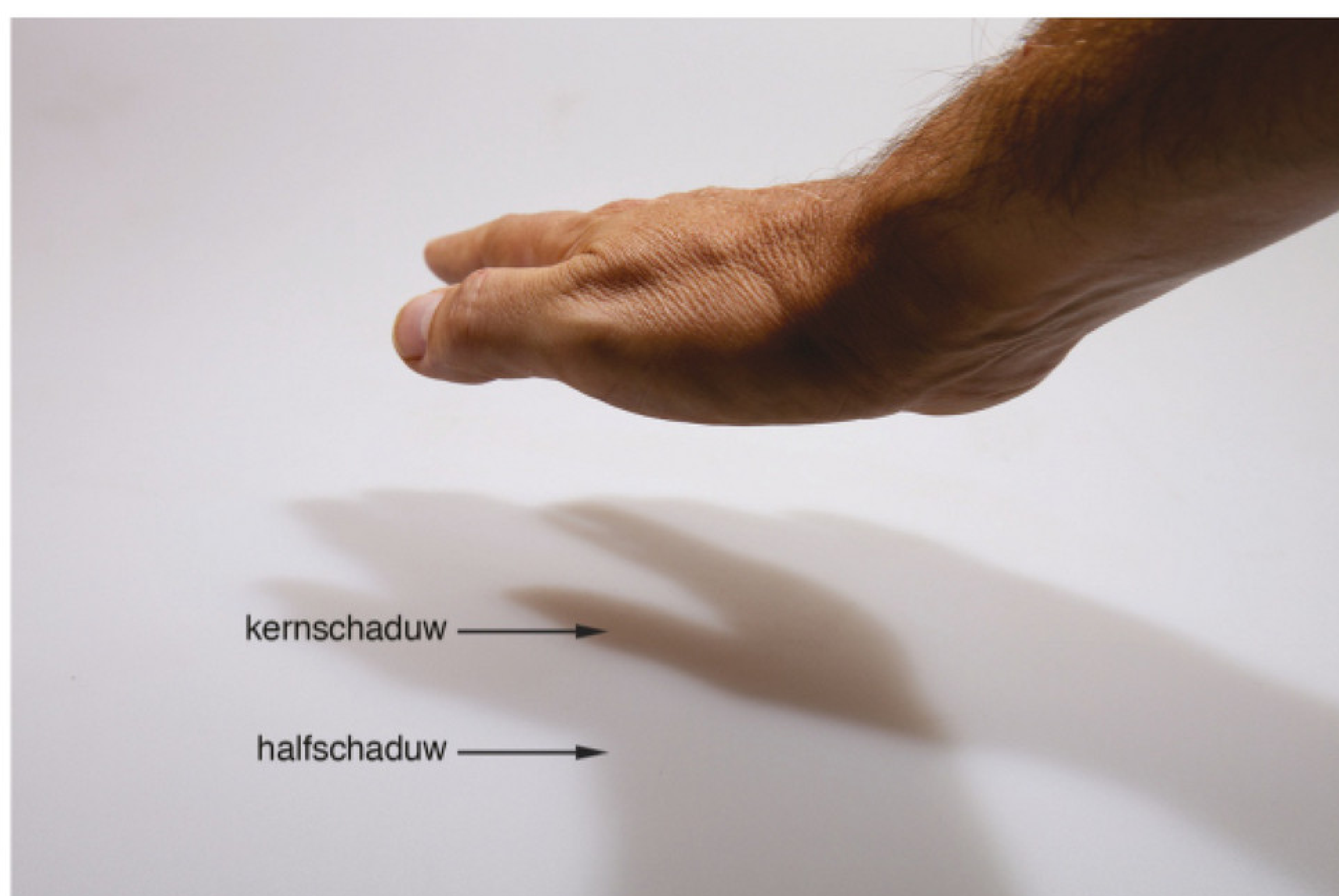
Als mensen heel nauwkeurig moeten werken, zoals een onderzoeker in een lab, dan moet het werkvlak goed verlicht zijn. Daarvoor worden vaak lampen gebruikt die **direct licht** geven. Dat wil zeggen dat het licht rechtstreeks van de lichtbron naar het werkvlak gaat, zoals bij de laboratoriumlamp in figuur 3.



figuur 3 Een lamp die direct licht geeft.

Een leeslamp is geen geschikte verlichting voor een werkblad met gereedschap en allerlei werkmateriaal. Er ontstaan dan overal donkere schaduwen met een scherpe grens tussen licht en donker. Daardoor kun je niet goed zien waar je mee bezig bent. De schaduwen leiden ook af van wat je eigenlijk moet zien.

Het helpt als je twee lampen naast elkaar ophangt. Je krijgt dan dubbele schaduwen, een voor elke lamp. Op de plaats waar die schaduwen over elkaar heen vallen, is het werkblad het donkerst. Dit noem je de **kernschaduw**. Links en rechts van de kernschaduw zie je een lichtere **halfschaduw**. Hier kan het licht van de ene lamp wel komen, maar dat van de andere lamp niet (figuur 4).



figuur 4 Kernschaduw en halfschaduw.

Een tl-buis is een betere oplossing. Bij elke plek op het werkblad is er wel een stukje tl-buis dat die plek belicht. Dan krijg je vloeiende overgangen tussen licht en donker.

INDIRECT EN DIFFUUS LICHT

Een andere oplossing voor het 'schaduwprobleem' is het gebruik van indirect licht of van diffuus licht. In figuur 5 zie je een lamp die **indirect licht** levert. Het licht van de lamp schijnt niet rechtstreeks de kamer in, maar wordt op een witte muur gericht. De muur weerkaatst het lamplicht dat erop valt in verschillende richtingen. Het lijkt daardoor alsof de muur één groot lichtgevend vlak is: een **indirecte lichtbron**.



figuur 5 Een lamp die indirect licht geeft.

In de lamp in figuur 6 wordt een andere manier gebruikt om 'zacht' licht te produceren. Het licht van de lamp valt op doorschijnend papier dat het licht in allerlei richtingen verstrooit. Het licht dat je op die manier krijgt, wordt **diffuus licht** genoemd.



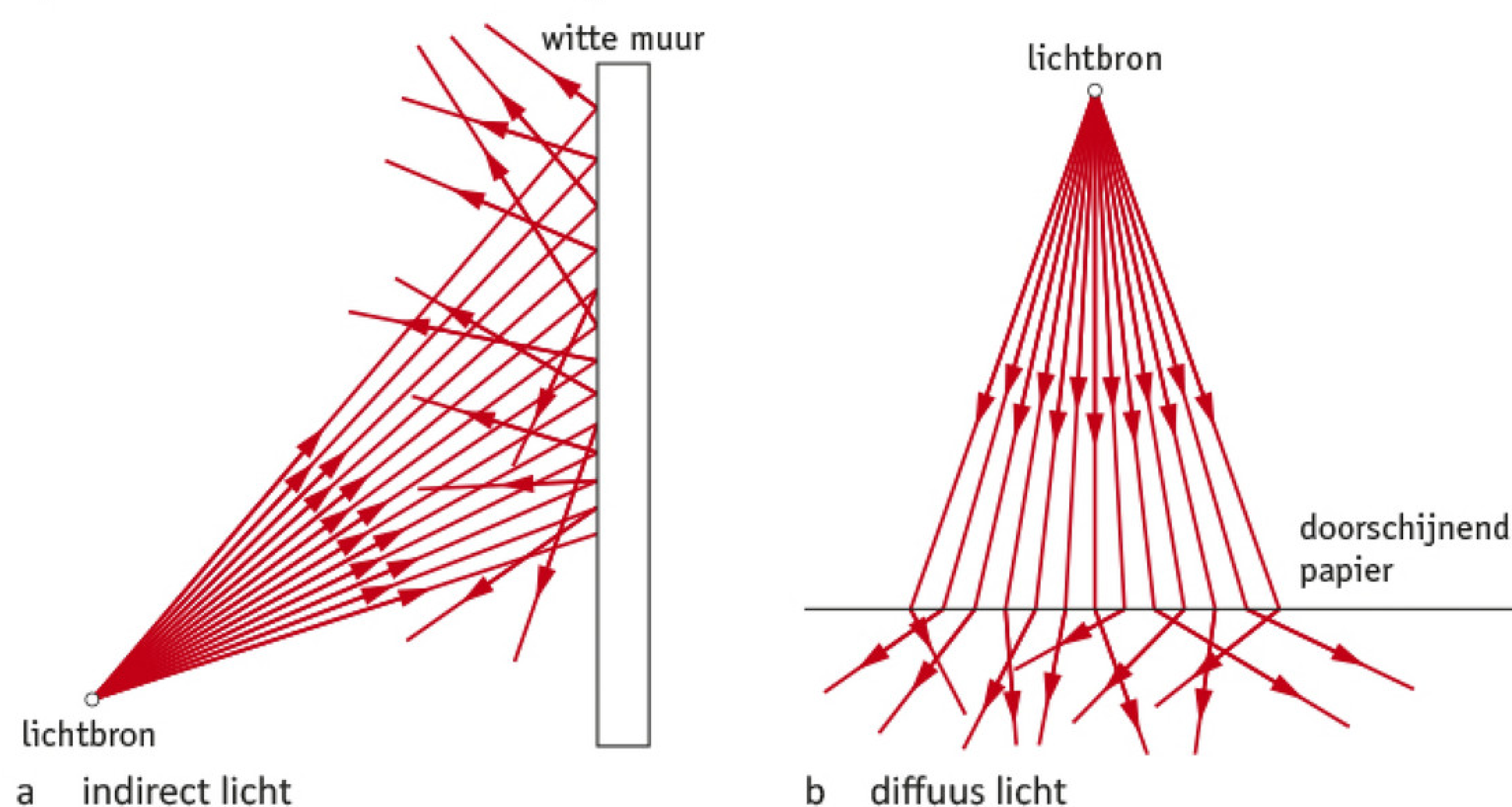
figuur 6 Een lamp die diffuus licht geeft.

REFLECTIE EN VERSTROOIING

Indirect licht ontstaat door reflectie: het licht weerkaatst tegen een ondoorschijnend vlak, zoals een witte muur. Als dit oppervlak niet glad is, weerkaatst het licht in alle richtingen (figuur 7a). Het licht komt nu van een groter oppervlak en het kan op allerlei plekken komen waar direct licht niet komt. Het contrast tussen licht en schaduw wordt daardoor minder groot.

Diffuus licht ontstaat door verstrooiing: het licht verandert van richting als het door een doorschijnend materiaal beweegt, zoals papier, matglas of textiel (figuur 7b).

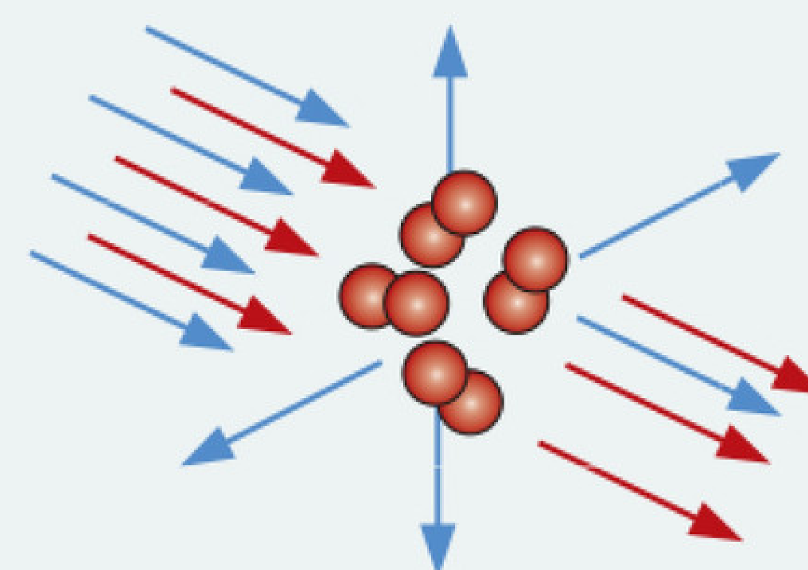
figuur 7 Reflectie en verstrooiing.



 **Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.**

EXTRA HEMELSBLAUW EN AVONDROOD

Als je op een wolkeloze dag omhoogkijkt, zie je dat de hemel overal diepblauw is. Dat blauwe licht is een mengsel van verschillende spectraalkleuren. Er zit veel violet in (waarvoor je ogen niet zo gevoelig zijn), nogal wat blauw, een beetje groen en bijna geen geel en rood. De mengkleur van al die spectraalkleuren is hemelsblauw.



figuur 8 Zonlicht wordt verstrooid door de moleculen in de atmosfeer.

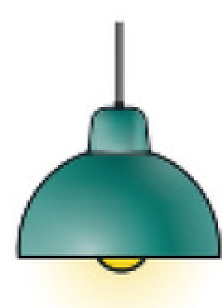
Die blauwe kleur van de hemel wordt veroorzaakt doordat moleculen het zonlicht verstrooien (van richting laten veranderen). In een dunne laag lucht merk je dat niet. Dan lijkt lucht perfect doorzichtig. Maar in de atmosfeer, die kilometers dik is, is die verstrooiing goed merkbaar. De spectraalkleuren violet en blauw worden het sterkst verstrooid, de spectraalkleuren rood en oranje het minst. Daardoor is het verstrooide licht hemelsblauw (figuur 8).

Bij zonsondergang moet het zonlicht een lange weg door de atmosfeer afleggen, voordat het je ogen bereikt. Bijna al het violette en blauwe licht is dan al verstrooid. Doordat het rode licht veel minder wordt verstrooid (en grotendeels rechtdoor kan gaan), overheerst dat in het licht dat overblijft. Daardoor ziet de ondergaande zon er rood uit.

1 Maak de volgende opdrachten.
- **a** Teken een convergente en een divergente lichtbundel en schrijf de namen erbij.
- **b** Maak met een tekening duidelijk hoe diffuus licht ontstaat.
- **c** Leg het verschil uit tussen indirect en diffuus licht.

2 Een werkblad wordt verlicht door twee, vlak naast elkaar opgehangen lampen.
- **a** Hoe komt het dat elk voorwerp op het werkblad twee schaduwen heeft?
- **b** Hoe heet het gebied waar beide lampen een schaduw geven op het werkblad?
- **c** Hoe komt het dat je daarnaast lichtere halfschaduwen kunt zien?
- **d** Waarom krijg je bijna geen schaduwen als je de lampen vervangt door een tl-buis?

3 In figuur 9 zie je een lamp die boven een kruk hangt.
Teken de twee randstralen. Arceer het schaduwgebied dat daartussen ligt.





figuur 9 De schaduw van een krukje.

4 In figuur 10 zie je Peter. Hij staat onder een straatlantaarn.

a Teken de lamp van de straatlantaarn op de juiste plaats.

b Peter is 1,80 m lang.
Hoe hoog hangt de lamp van de straatlantaarn boven de grond? Schrijf stap voor stap op hoe je aan je antwoord bent gekomen.



figuur 10 Waar hangt de lamp?

5 In figuur 11 zie je een tl-buis die boven een kruk hangt.

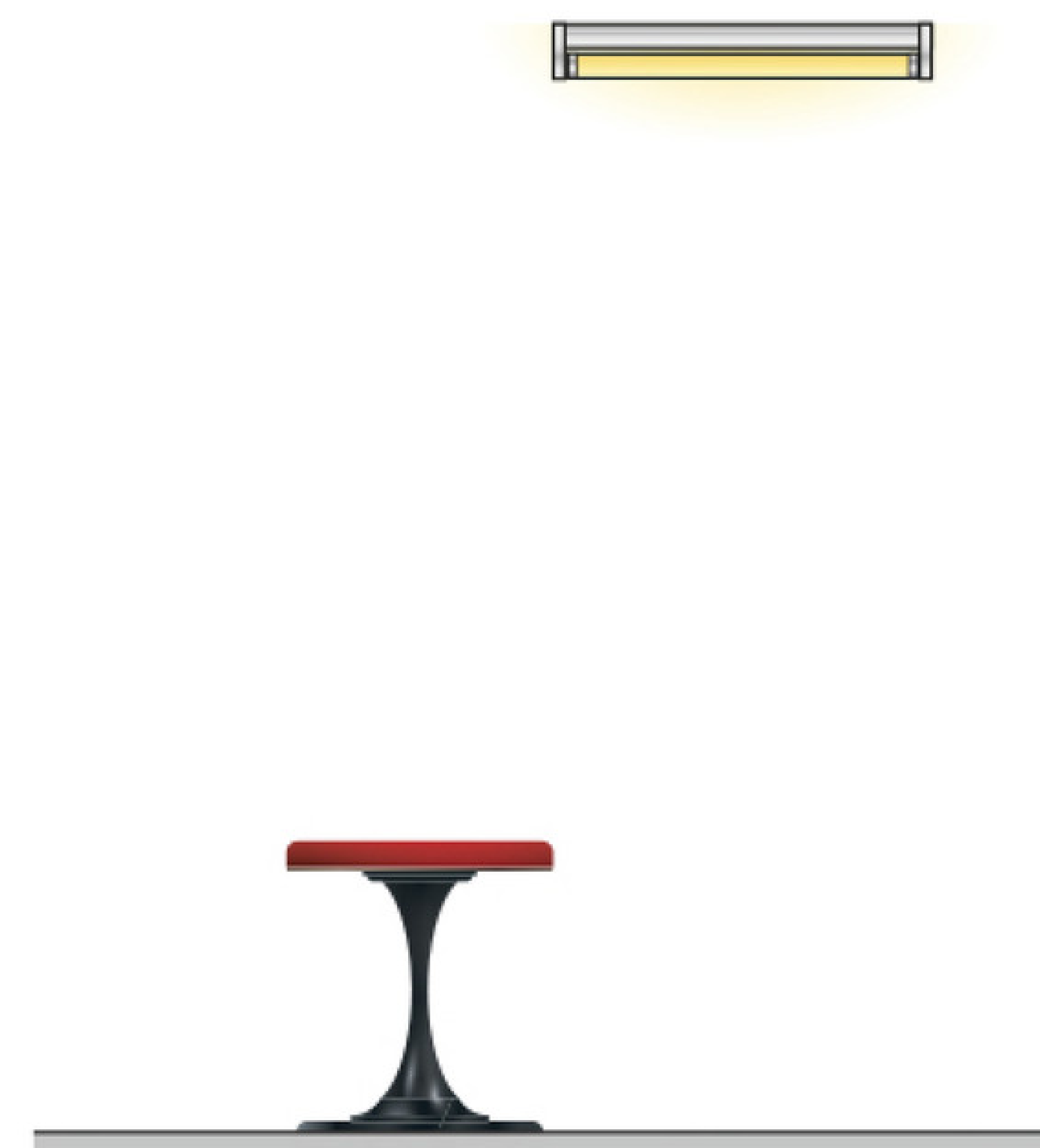
a Teken de twee randstralen vanuit het linker uiteinde van de tl-buis.

b Teken de twee randstralen vanuit het rechter uiteinde van de tl-buis.

c Geef met blauw aan waar je de kernschaduw van de kruk kunt zien.

d Geef met rood aan waar je de halfschaduwen van de kruk kunt zien.

e Een muis loopt over de kamervloer van links naar rechts, onder de kruk door. Beschrijf hoe de muis het licht op de vloer ziet veranderen.



figuur 11 De schaduw van een krukje.

6 Leg uit hoe het komt:

- **a** dat je de lichtbundels van een lasershow veel beter kunt zien als het een beetje mistig is dan bij droog weer.
- **b** dat schaduwen bij zonnig weer hard en scherp zijn, terwijl je bij een bewolkte lucht bijna geen schaduwen ziet.
- **c** dat wintersporters eerder last hebben van verblindend zonlicht dan toeristen die ’s zomers in de bergen rondtrekken.

★ 7 Luuk wil op een zonnige dag de hoogte van een kerktoren bepalen. Hij steekt een stok rechtop in de grond. De stok heeft een hoogte van 1,20 m. Luuk meet zowel de lengte van de schaduw van de stok als die van de kerktoren. De lengte van de schaduw van de stok is 92 cm en die van de kerktoren is 42 m.

- **a** Maak een tekening van de situatie en zet daar de genoemde getallen in.
- **b** Hoe hoog is de toren ongeveer?
- **c** Luuk meet de schaduw van de toren vanaf de torenmuur.
  Vindt hij op deze manier een te hoge of een te lage waarde voor de hoogte van de toren? Licht je antwoord toe.
- **d** Wat moet Luuk doen om een betere waarde voor de hoogte van de toren te vinden?

★ 8 Een witte paraplu hoort bij de basisuitrusting van een professionele fotograaf. Lees de tekst in figuur 12.

- **a** Op welke twee manieren kan een fotograaf zo’n paraplu gebruiken volgens de tekst?
- **b** Welke van die twee manieren zie je op de foto in figuur 12? Waaraan zie je dat?
- **c** Teken hoe de paraplu, de flitslamp en het model bij de andere manier staan opgesteld.
- **d** Het licht wordt zachter als de fotograaf de paraplu dichter bij het model zet.
  Leg uit waarom dat zo is.
- **e** Op een website wordt beweerd: “Een grote paraplu levert zachter licht dan een kleine.”
  Leg uit of deze bewering juist is of niet.

figuur 12 Een techniek die je leert bij een cursus fotografie.



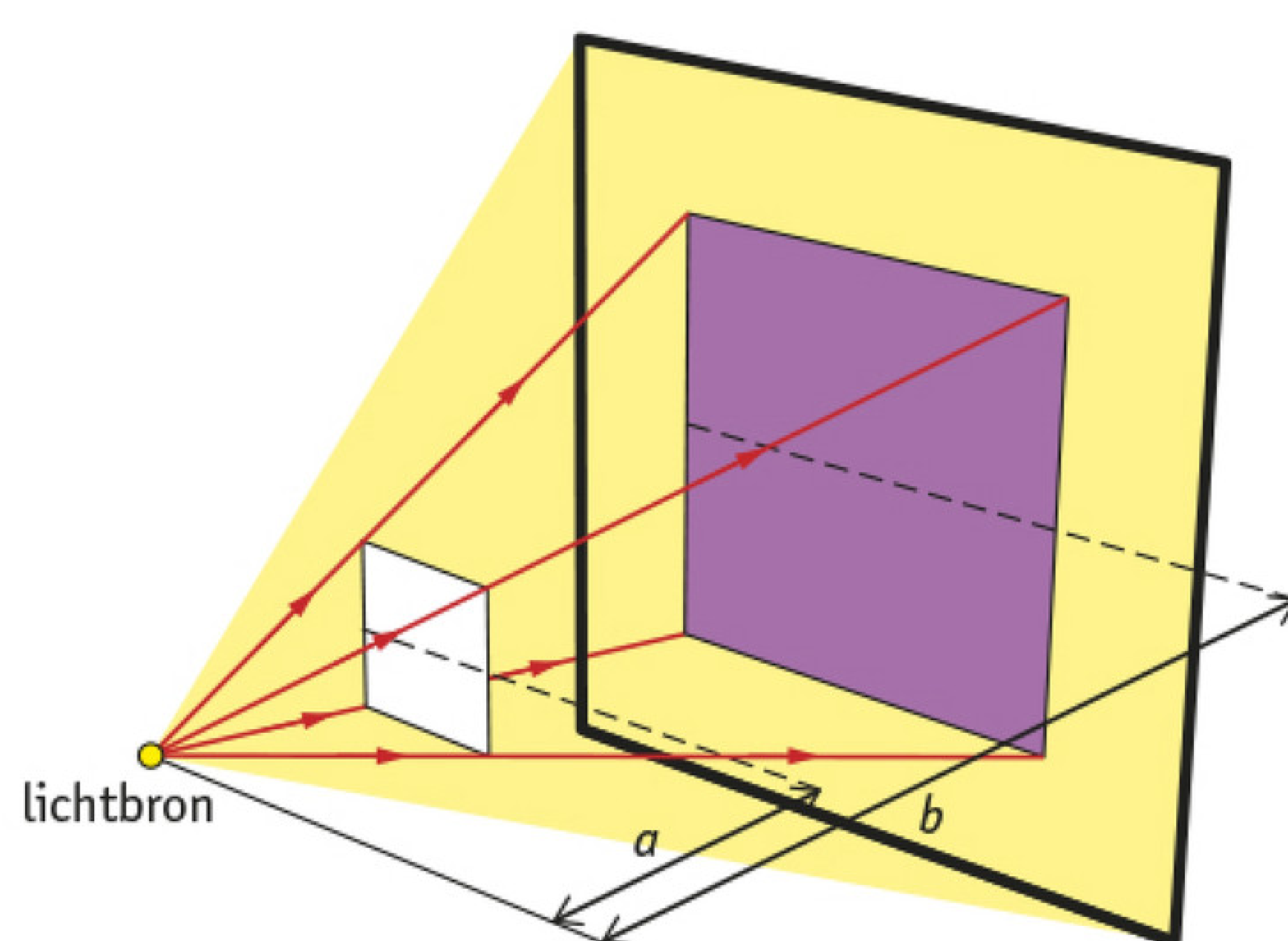
De paraplu kan op twee manieren worden gebruikt, namelijk als reflector of als diffuser.
In het geval de paraplu wordt gebruikt als reflector, wordt de flits in de paraplu gestuurd en kaatst die via de open kant van de paraplu op het model.
Bij gebruik als diffuser is de paraplu met de dichte kant naar het model gericht. Ook hier wordt in de paraplu geflitst, echter nu gaat het licht door de paraplu heen en verlicht het onderwerp.
Hoe groter de paraplu, des te groter is de lichtbron die het model belicht.

Naar: www.123cursus-fotografie.nl

★ 9

In figuur 13 zie je hoe een puntvormige lichtbron een schaduw maakt doordat een voorwerp (een vierkant plaatje) tussen de lichtbron en het scherm staat. In dit voorbeeld is het schaduwbeeld 3× zo hoog en 3× zo breed als het voorwerp. Je zegt dan: de vergrotingsfactor $N = 3$.

- **a** Kan N ook 1 zijn? Zo ja, hoe is dan de situatie?
- **b** Kan N kleiner dan 1 zijn?
- **c** In figuur 13 zie je de afstand van de lichtbron naar het voorwerp aangegeven (a), net als de afstand van de lichtbron naar de schaduw (b). Welke relatie bestaat er tussen N en de afstanden a en b?
- **d** Het voorwerp staat 40 cm voor het scherm. Hoe groot is de afstand tussen de lichtbron en het voorwerp?
- **e** Bedenk een manier om de vergrotingsfactor in figuur 13 twee keer zo groot (dus $N = 6$) te maken. Je mag met de lichtbron en het voorwerp schuiven.



figuur 13 Vergroting bij het maken van een schaduw.

Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA HEMELSBLAUW EN AVONDROOD

10 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke spectraalkleuren vormen samen het hemelsblauw van een wolkeloze hemel?

b Hoe komt het dat blauw overheerst in het licht dat vanaf een wolkeloze lucht in je ogen valt?

c Hoe komt het dat rood overheerst in het licht dat vanaf de ondergaande zon in je ogen valt?

11 In de verte ziet een berglandschap er anders uit dan dichtbij (figuur 14).

a Beschrijf het verschil in kleur, contrast en helderheid.

b Leg uit welke rol de verstrooiing van licht hierbij speelt.



figuur 14 Een berglandschap.

3 Spiegelbeelden

LEERDOELEN

6.3.1 Je kunt uitleggen wat een spiegelbeeld is.
6.3.2 Je kunt de spiegelwet beschrijven.
6.3.3 Je kunt op twee manieren een teruggekaatste lichtstraal tekenen.
6.3.4 Je kunt het spiegelbeeld tekenen van een voorwerp.
6.3.5 Je kunt uitleggen hoe een reflector werkt.
EXTRA 6.3.6 Je kunt het gezichtsveld van een spiegel bepalen.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN								
	6.3.1	6.3.2	6.3.3	6.3.4	6.3.5	6.3.6	6.1.1*	6.1.2*	6.1.5*
Onthouden	2a	2bc	1abcd						
Begrijpen	3, 7de				10fg	12d, 13b	10a	10b	10cde
Toepassen			4, 11	8ab		12abc			
Analyseren		7abc	5, 6, 9			13a, 14			

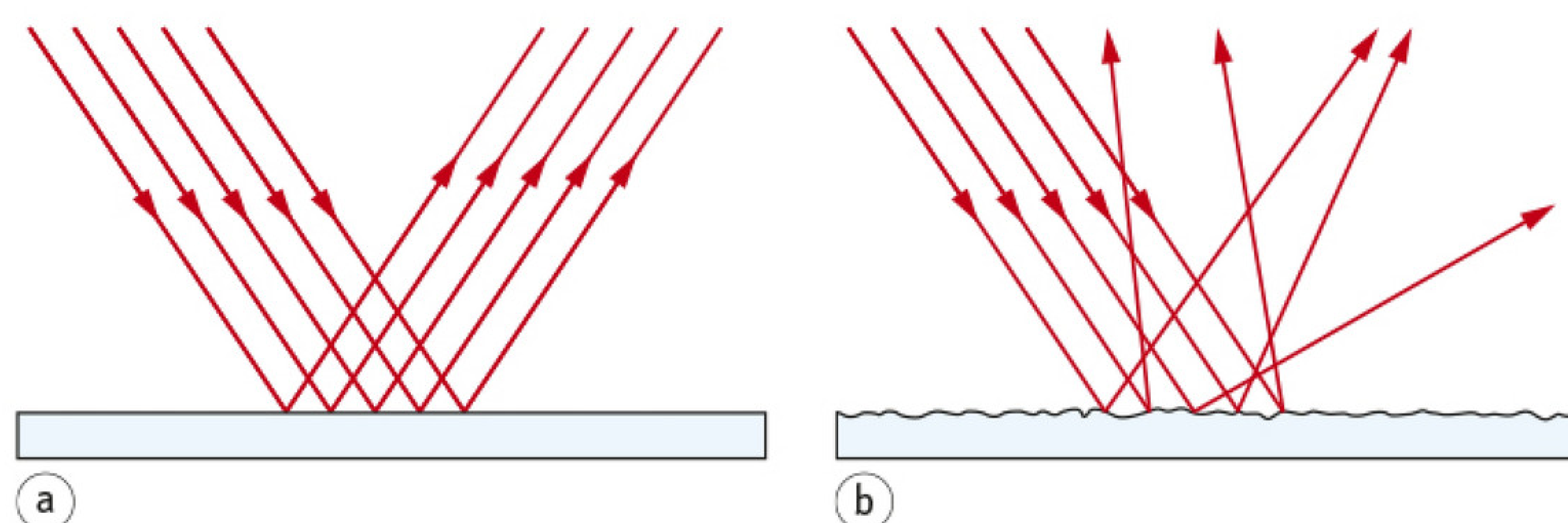
* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

Als zonlicht op wit papier of op een spiegel valt, wordt het voor meer dan 90% teruggekaatst. Bij het papier is die terugkaatsing diffuus. Het weerkaatste zonlicht beweegt alle kanten op. Bij een spiegel wordt het licht juist heel gericht teruggekaatst. Daardoor kun je je gezicht wel zien in een spiegel, maar niet in een vel papier.

SPIEGELS

Een **spiegel** (van het Latijnse *specere* = kijken) bestaat uit een glasplaat, waarop een dun laagje aluminium of zilver is aangebracht. Licht passeert het glas en wordt vervolgens teruggekaatst door het laagje metaal dat eronder is aangebracht. Doordat het metaaloppervlak heel glad en vlak is, is de **terugkaatsing spiegelend**: het licht wordt gericht teruggekaatst, en niet alle kanten op. Als het licht wel alle kanten op wordt teruggekaatst, dan is dat diffuse terugkaatsing (figuur 1).

figuur 1 Spiegelende terugkaatsing (a) en diffuse terugkaatsing (b).



Als je in een vlakke spiegel kijkt, zie je je **spiegelbeeld** achter de spiegel (figuur 2). Het spiegelbeeld heeft zelfs diepte: het lijkt echt achter de spiegel te liggen. Er is een opvallend verschil tussen de 'spiegelwereld' en de wereld voor de spiegel: voor en achter zijn omgedraaid. Dat merk je als je een tekst via een spiegel bekijkt. Je ziet de tekst dan in spiegelschrift, omdat je het woord eigenlijk vanaf de achterkant probeert te lezen. Dit is hetzelfde als wanneer je het vel papier tegen het licht houdt en dan de tekst vanaf de achterkant probeert te lezen. Omgekeerd werkt het ook: als je een tekst in spiegelschrift via een spiegel bekijkt, zien de letters er weer normaal uit.

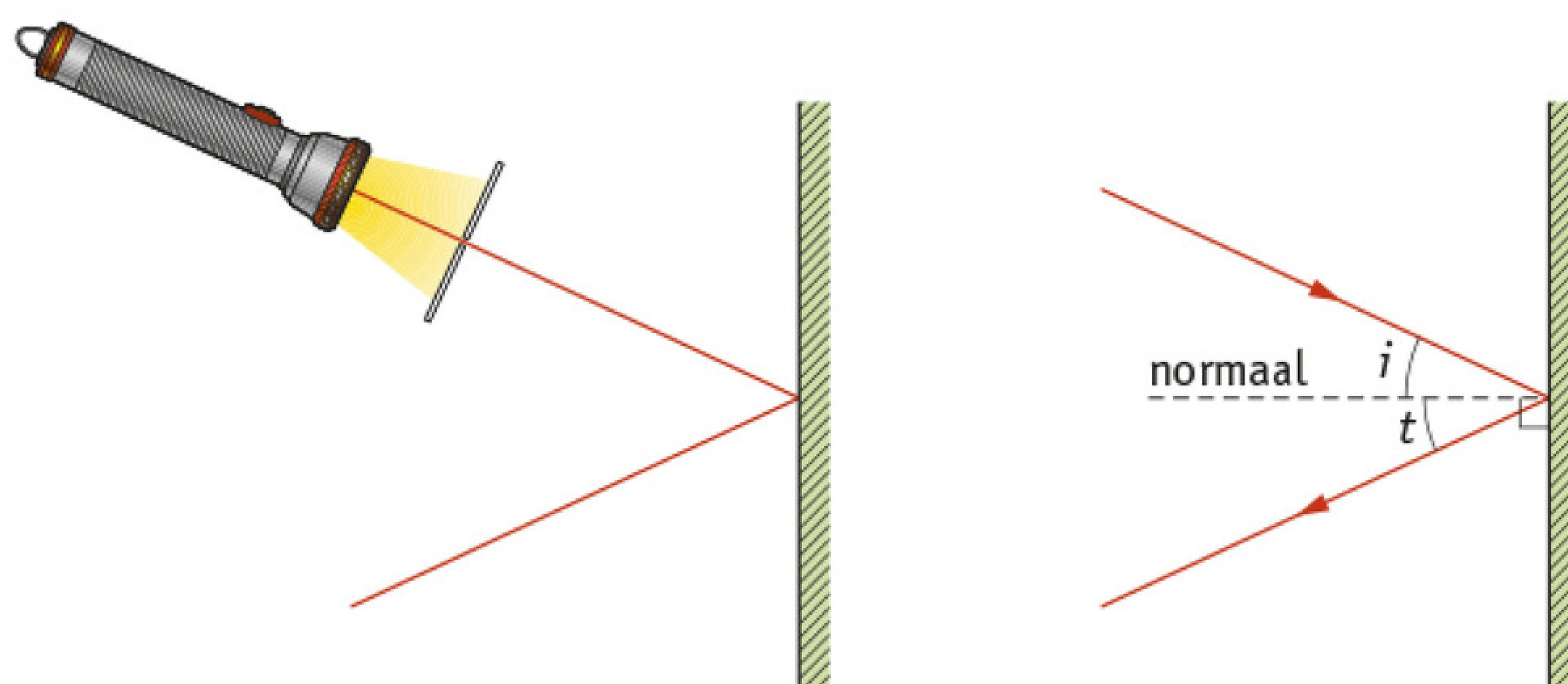


figuur 2 Achter een spiegel lijkt een andere, gespiegelde wereld te liggen.

DE SPIEGELWET

PROEF 4

In de tekening van figuur 3 zie je hoe een vlakke spiegel een evenwijdige, smalle lichtbundel terugkaatst. Omdat je zo'n lichtbundel kunt tekenen als één lichtstraal, zeg je in plaats van 'evenwijdige, smalle lichtbundel' meestal kortweg 'lichtstraal'.



figuur 3 Zo kaatst een spiegel een lichtstraal terug.

Op de plaats waar de lichtstraal de spiegel raakt, is een lijn getekend die loodrecht op de spiegel staat: de **normaal** (of loodlijn). De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal heet de **hoek van inval** ($\angle i$). De hoek tussen de teruggekaatste lichtstraal en de normaal heet de **hoek van terugkaatsing** ($\angle t$).

Bij terugkaatsing door een spiegel geldt altijd:

hoek van inval = hoek van terugkaatsing

of in symbolen:

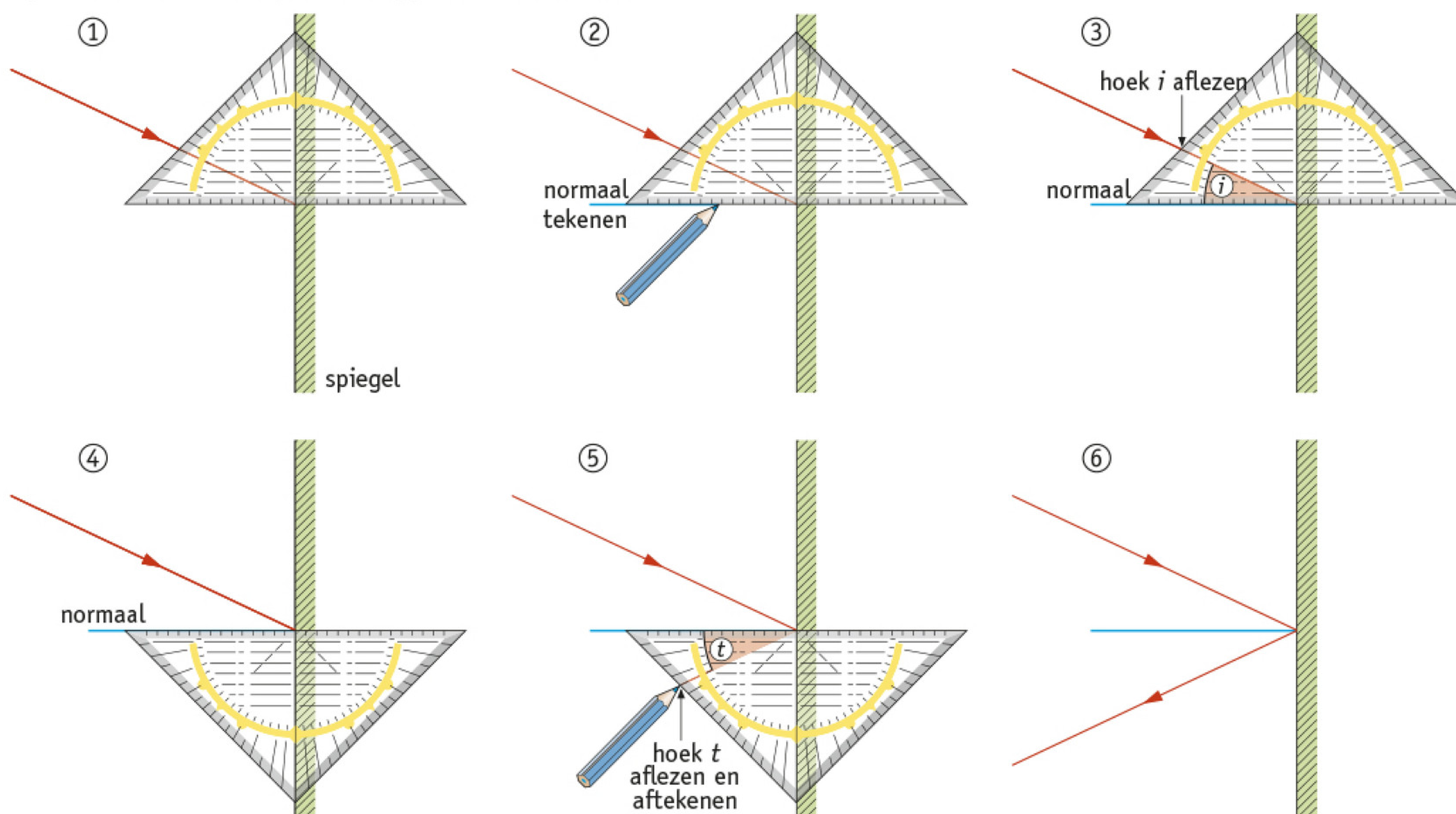
∠ *i* = ∠ *t*

Deze regel wordt de **spiegelwet** genoemd.

Aan de hand van de spiegelwet kun je tekenen hoe een lichtstraal door de spiegel teruggekaatst wordt (figuur 4):

1 Leg je geodriehoek zoals in de tekening.
2 Teken de normaal. De normaal staat altijd loodrecht op het vlak van inval (de spiegel).
3 Lees de hoek van inval af.
4 Leg je geodriehoek nu langs de andere kant van de normaal.
5 Pas de spiegelwet toe en zet de hoek van terugkaatsing uit.
6 Teken de teruggekaatste lichtstraal.

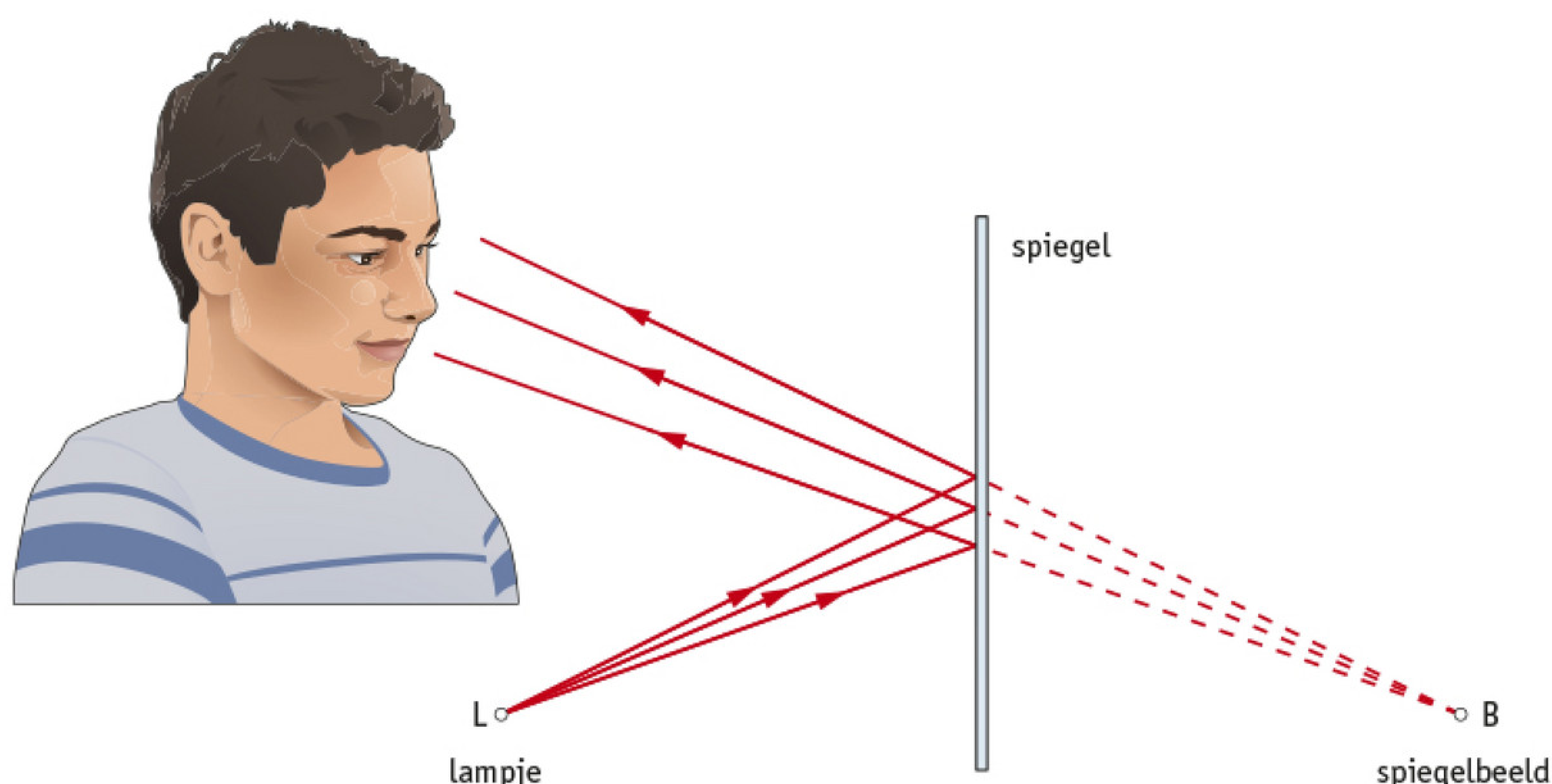
figuur 4 Zo construeer je een teruggekaatste lichtstraal.



HET SPIEGELBEELD TEKENEN

PROEF 5

In figuur 5 is een lampje getekend dat voor een spiegel staat. De teruggekaatste lichtstralen lijken uit een punt te komen dat achter de spiegel ligt. Als je in de spiegel kijkt, zie je daar het spiegelbeeld van het lampje.

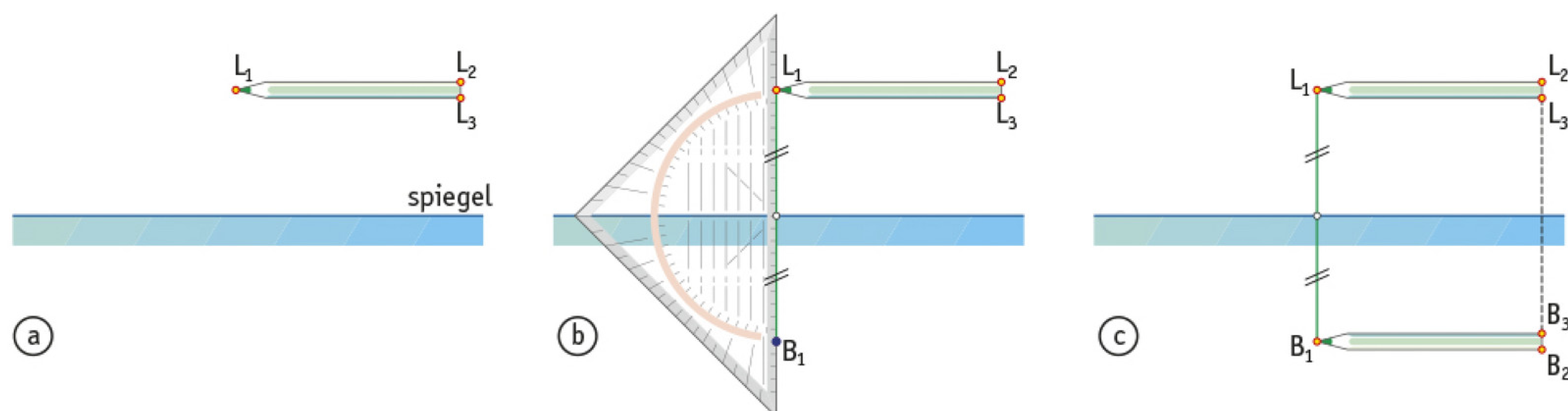


figuur 5 Kijken naar een spiegelbeeld.

Het spiegelbeeld bevindt zich even ver achter de spiegel als het voorwerp zich voor de spiegel bevindt.
Je kunt als volgt de plaats van het spiegelbeeld vinden (figuur 6):

1 Kies een willekeurig punt L van het voorwerp.
2 Leg je geodriehoek neer zoals in de tekening.
3 Teken het beeldpunt B zo dat B even ver achter de spiegel ligt als L ervoor.

figuur 6 Zo construeer je het spiegelbeeld van een voorwerp.

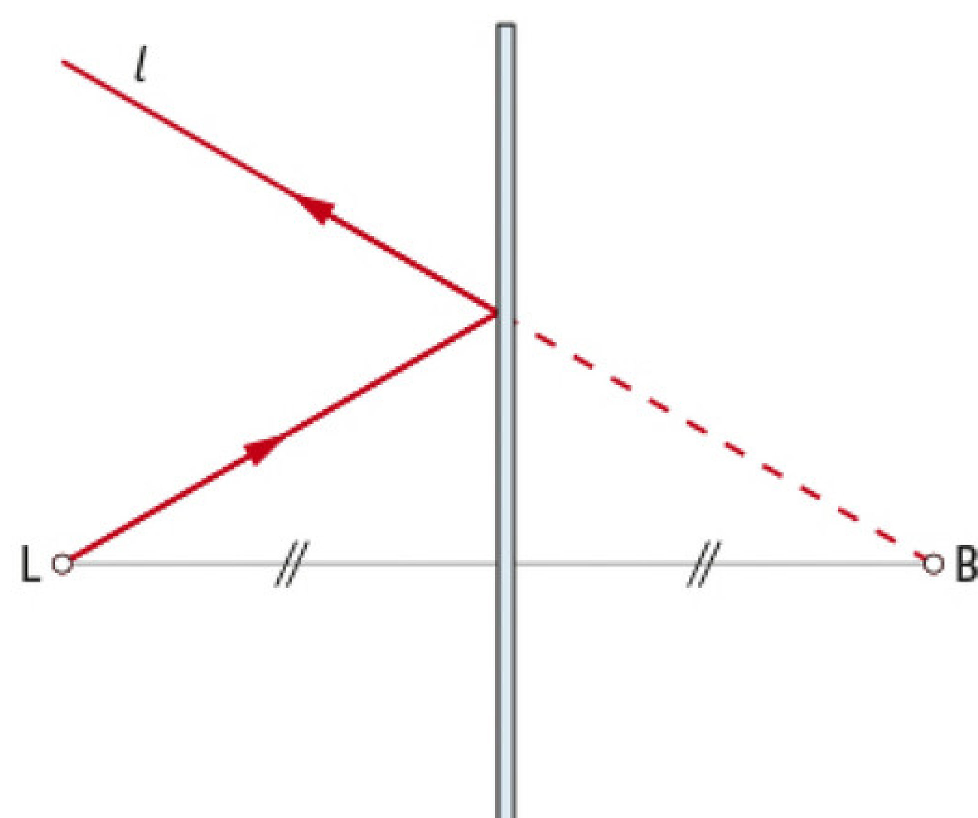


Op deze manier kun je het spiegelbeeld van elk punt van het voorwerp bepalen. Nummer de punten van het voorwerp: L_1, L_2, L_3 enzovoort. Nummer de punten van het beeld: B_1, B_2, B_3 enzovoort. Als een punt niet recht voor de spiegel ligt, mag je de spiegel in je tekening verlengen om het beeldpunt te kunnen vinden.

DE TERUGGEKAATSTE LICHTSTRAAL TEKENEN

Als je wilt tekenen hoe een spiegel het licht van een lichtbron L terugkaatst, hoef je niet de spiegelwet te gebruiken. Meestal is het eenvoudiger om eerst het beeldpunt B van de lichtbron te tekenen. Daarna kun je gebruikmaken van het feit dat de teruggekaatste lichtstralen uit het punt B lijken te komen.

In figuur 7 zie je een tekening waarin een willekeurige lichtstraal door een spiegel wordt teruggekaatst. Om zo'n tekening te maken, teken je eerst het beeldpunt van L. Dit is het punt B. Daarna trek je vanuit B de lijn *l*: eerst onderbroken achter de spiegel, daarna als doorgetrokken lijn voor de spiegel. Het doorgetrokken gedeelte voor de spiegel is de teruggekaatste lichtstraal.

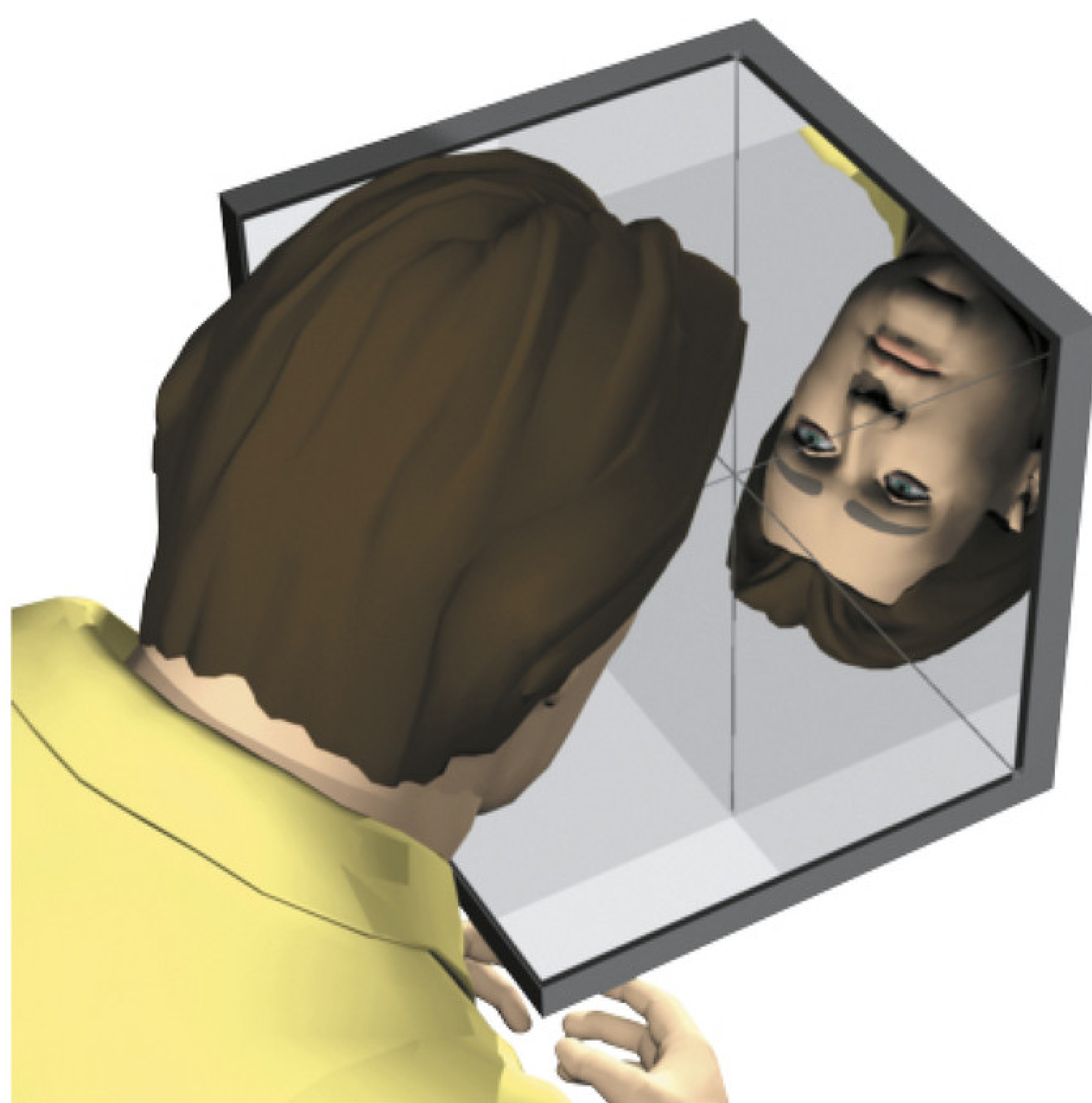


figuur 7 Zo construeer je de teruggekaatste lichtstraal met behulp van het beeldpunt.

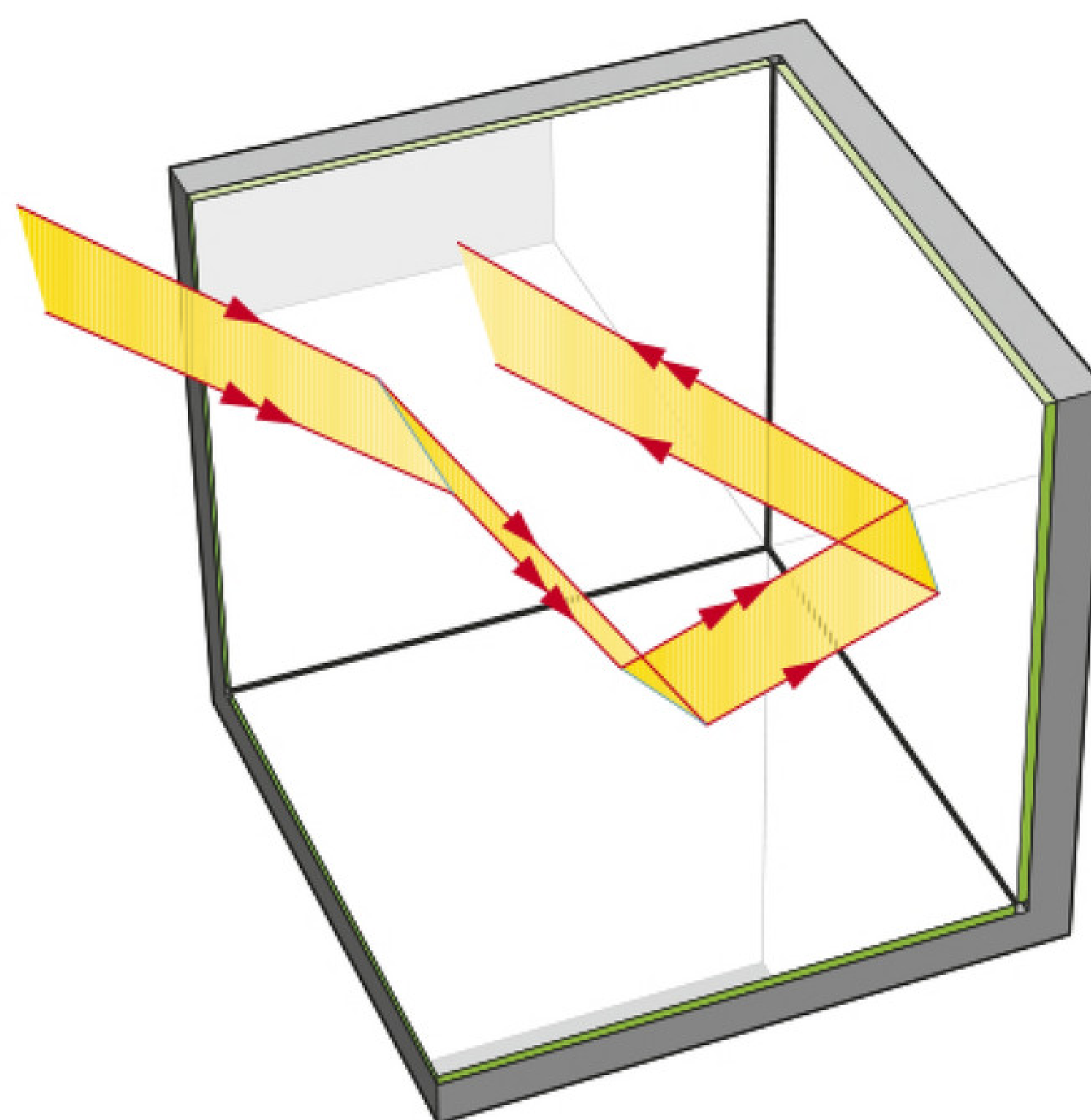
TRIPELSPIEGELS

De man in figuur 8 kijkt in een zogenoemde **tripelspiegel**. Zo'n spiegel bestaat uit drie spiegels die loodrecht op elkaar zijn geplaatst. Als je in een tripelspiegel kijkt, zie je je gezicht 'op de kop'. Als je met je hoofd van links naar rechts gaat, beweegt het spiegelbeeld de andere kant op.

Met een dunne lichtbundel kun je onderzoeken hoe een tripelspiegel het licht reflecteert. Je ziet dan dat een lichtbundel die in de tripelspiegel valt, drie keer wordt weerkaatst – één keer door elke spiegel. Het eindresultaat is dat de richting van de lichtbundel precies omdraait: het licht gaat weer terug naar waar het vandaan kwam (figuur 9).



figuur 8 Beeldvorming in een tripelspiegel.



figuur 9 Reflectie in een tripelspiegel.

Tripelspiegels worden toegepast in **reflectoren**. Een fietsreflector bestaat bijvoorbeeld uit een groot aantal tripelspiegeltjes. Als een auto met zijn koplampen in de reflector schijnt, wordt het licht weerkaatst in de richting van de auto. De bestuurder wordt er daardoor voor gewaarschuwd dat er een fietser voor hem op de weg rijdt.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA HET GEZICHTSVELD BIJ SPIEGELS

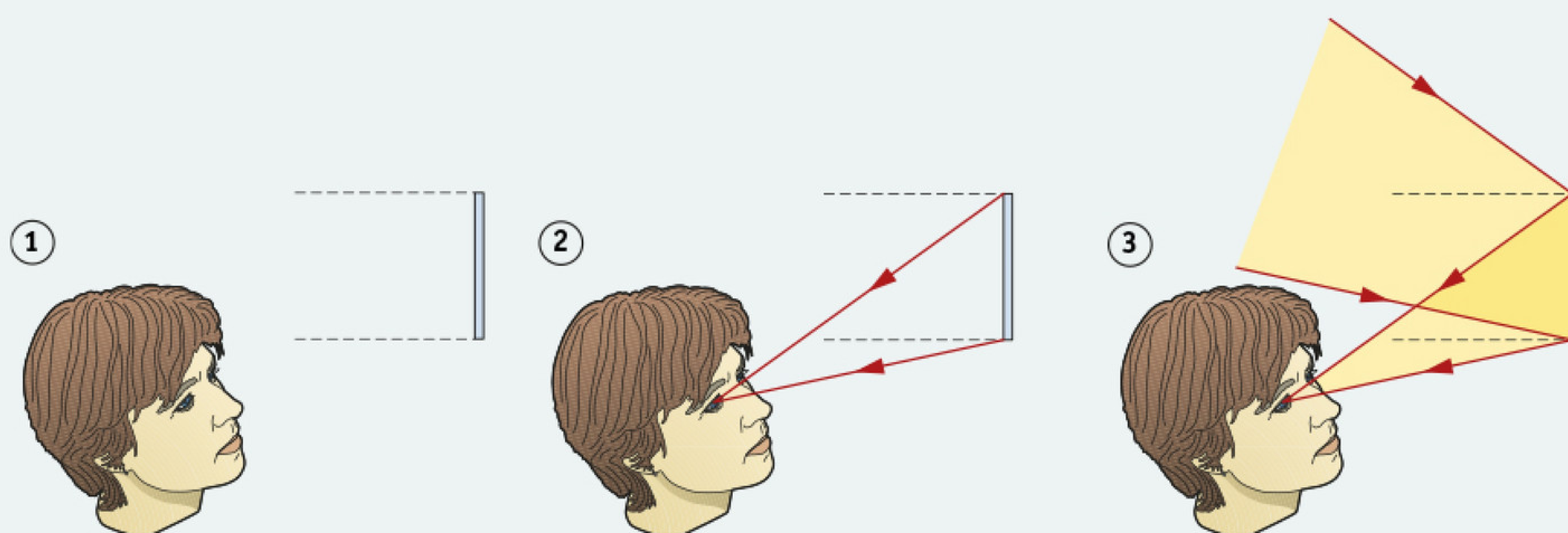
Auto's hebben een binnenspiegel en twee buitenspiegels. Via deze spiegels kan de bestuurder de weg achter en naast zich in de gaten houden. Het gezichtsveld van een spiegel is het gebied dat je via de spiegel kunt zien. Dit gebied wordt begrensd door de lichtstralen die nog net via de spiegel bij de ogen van de bestuurder terechtkomen.

Je kunt met behulp van de spiegelwet bepalen hoe deze lichtstralen lopen (figuur 10):

1 Teken een normaal op elk uiteinde van de spiegel.
2 Teken de twee teruggekaatste lichtstralen naar het oog.
3 Teken nu de twee invallende lichtstralen met behulp van de spiegelwet. Tussen deze twee lichtstralen ligt het gezichtsveld.

Als je via een spiegel een zo groot mogelijk gebied wilt overzien, moet je een bolle spiegel gebruiken. Bolle spiegels vind je bijvoorbeeld in een auto, op vrachtwagens (als dodehoekspiegel), in supermarkten en op onoverzichtelijke kruisingen.

figuur 10 Het gezichtsveld van een vlakke spiegel.



1 Maak een tekening van een lichtstraal die door een vlakke spiegel wordt teruggekaatst. Geef in je tekening aan:

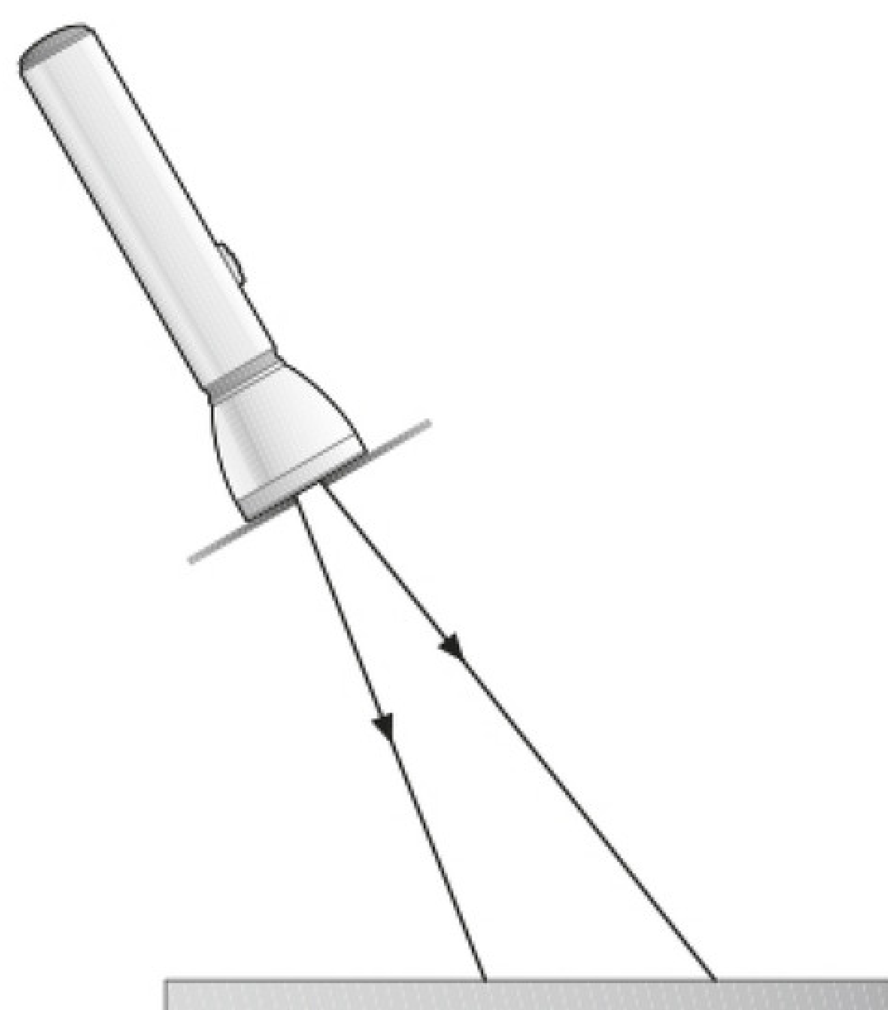
a in welke richting het licht beweegt;
b welke lijn de normaal is;
c welke hoek de hoek van inval is;
d welke hoek de hoek van terugkaatsing is.

2 Beantwoord de volgende vragen.

a Wat is het verschil tussen spiegelende terugkaatsing en diffuse terugkaatsing?
b Op welke moeilijkheid stuit je als je tekst via een spiegel probeert te lezen?
c Een punt L staat 4,5 cm voor een spiegel. Waar teken je het beeldpunt B?

3 Bedenk een woord in hoofdletters dat er in spiegelschrift precies hetzelfde uitziet.

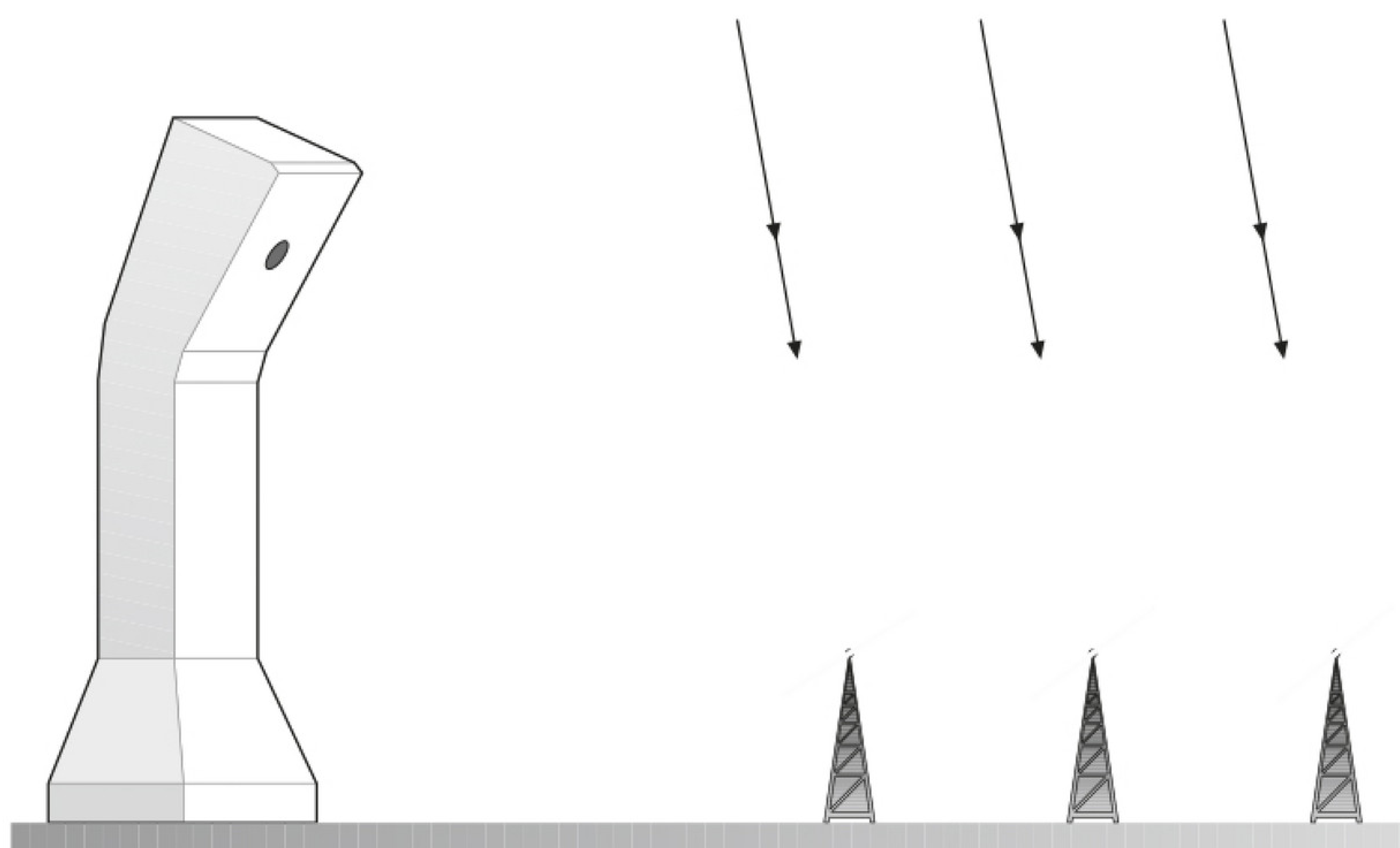
4 Op een spiegel valt een lichtbundel uit een zaklantaarn (figuur 11).
Teken hoe de lichtbundel wordt teruggekaatst.



figuur 11 Spiegeling bij een zaklantaarn.

★ 5 In figuur 6 wordt uitgelegd hoe je met behulp van een geodriehoek de teruggekaatste lichtstraal kunt tekenen. Je moet dan wel de geodriehoek ‘omklappen’ tijdens het tekenen.
Bedenk een methode waarbij je de geodriehoek niet hoeft te verplaatsen.

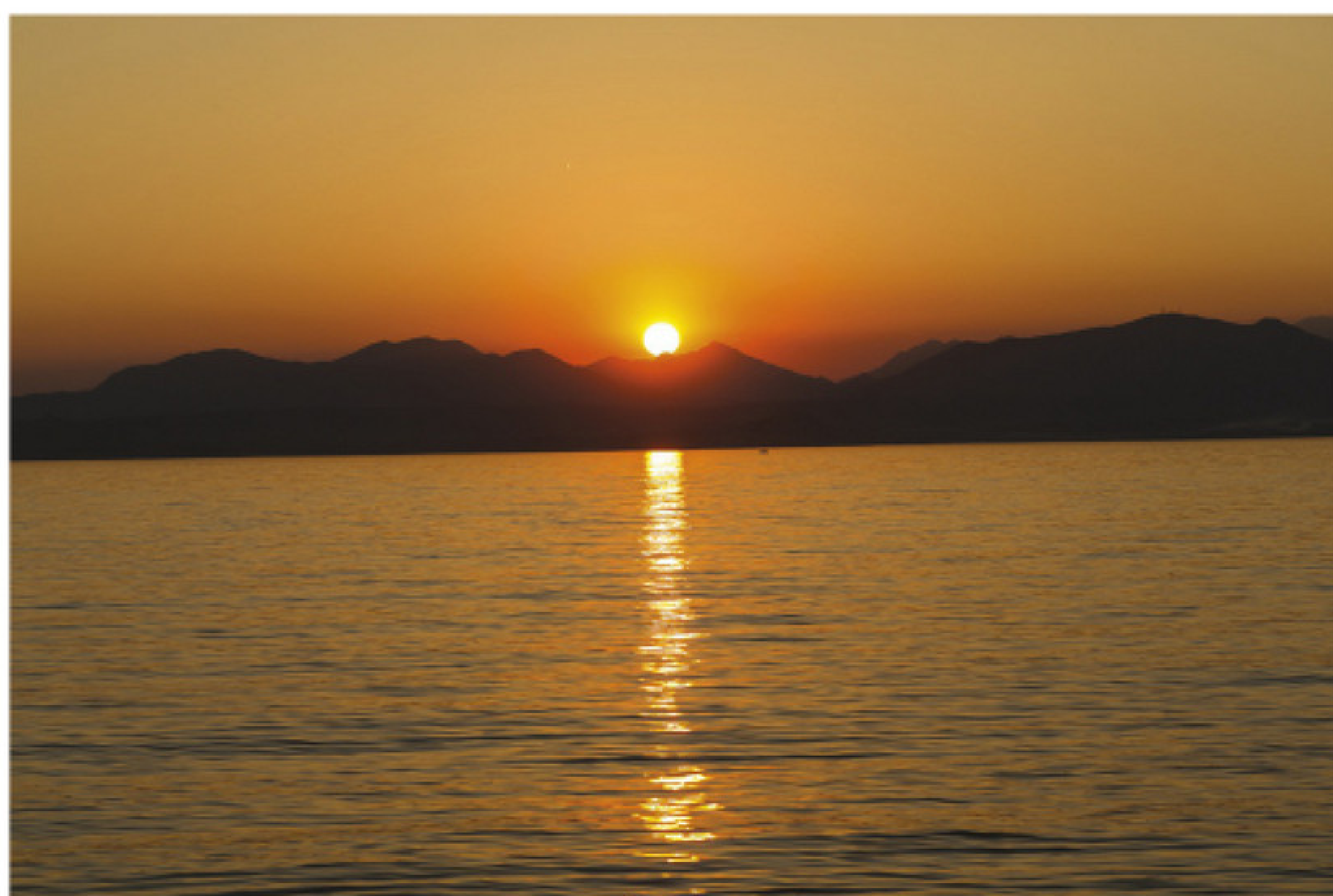
6 Een zonne-energiecentrale bestaat uit een groot aantal vlakke spiegels die het zonlicht naar een oven moeten weerkaatsen. De spiegels staan op palen. Je ziet in figuur 12 de oven, drie palen (de spiegels zijn nog niet getekend) en de richting van het zonlicht.
Teken in de figuur in welke stand de spiegels moeten worden gezet om het licht van de zon naar het midden van de oven te spiegelen.



figuur 12 De spiegels van een zonne-energiecentrale.

7 Bekijk de foto van de zonsondergang in figuur 13.

a Leg uit waardoor de smalle baan licht ontstaat die je over het water ziet lopen.
b Leg uit hoe het komt dat die baan licht altijd recht op de toeschouwer afkomt.
c Leg uit wat de oorzaak is van de donkere strepen die de baan licht onderbreken.
d Heel soms kun je in zee het spiegelbeeld van de ondergaande zon zien, in plaats van een baan licht zoals in figuur 13.
Wat is er nodig om een perfect gespiegelde, ronde zonneschijf te zien?
e Hoe komt het dat je dit eerder in een meertje zult zien dan in de zee?

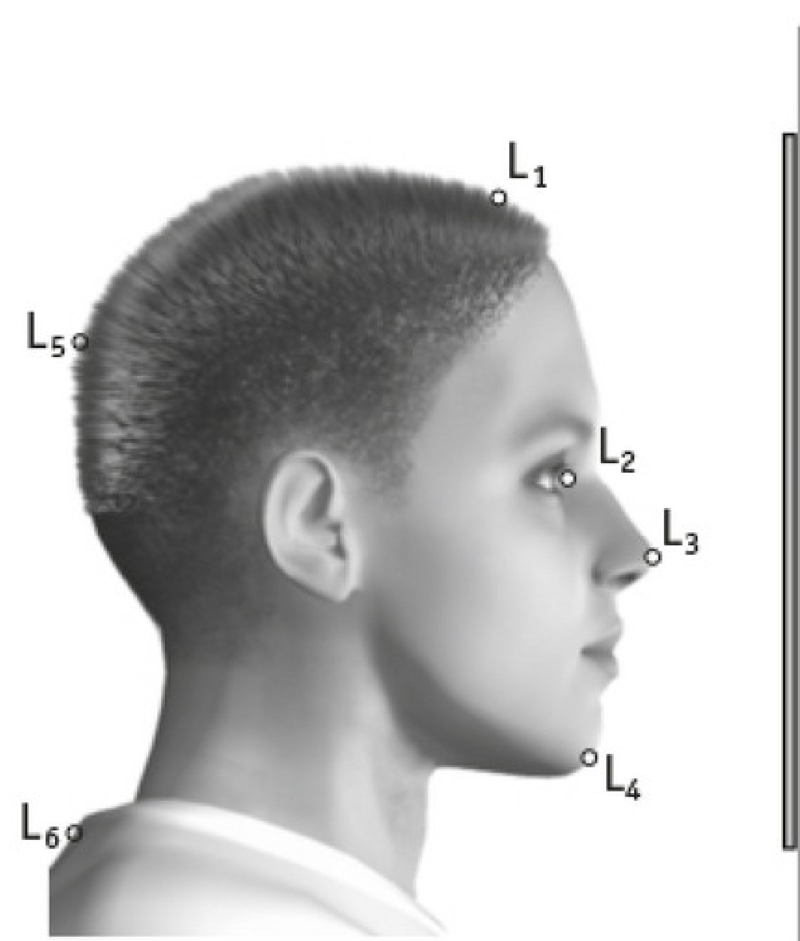


figuur 13 Een gespiegelde zonsondergang.

8 Hans bekijkt zichzelf in een spiegel (figuur 14).

a Teken de beeldpunten:
- van het topje van zijn hoofd (L_1);
- van zijn rechteroog (L_2);
- van het puntje van zijn neus (L_3);
- van zijn kin (L_4);
- van de achterkant van zijn hoofd (L_5);
- van zijn kraag (L_6).

b Schets nu het spiegelbeeld van zijn gezicht.



figuur 14 Spiegelende terugkaatsing.

9 Mirjam en Els staan voor een grote, spiegelende etalageruit. Dit is in figuur 15 in bovenaanzicht getekend.
Maak met een nauwkeurige tekening duidelijk of ze elkaar via de ruit kunnen zien.



figuur 15 Mirjam en Els voor een spiegelende etalageruit.

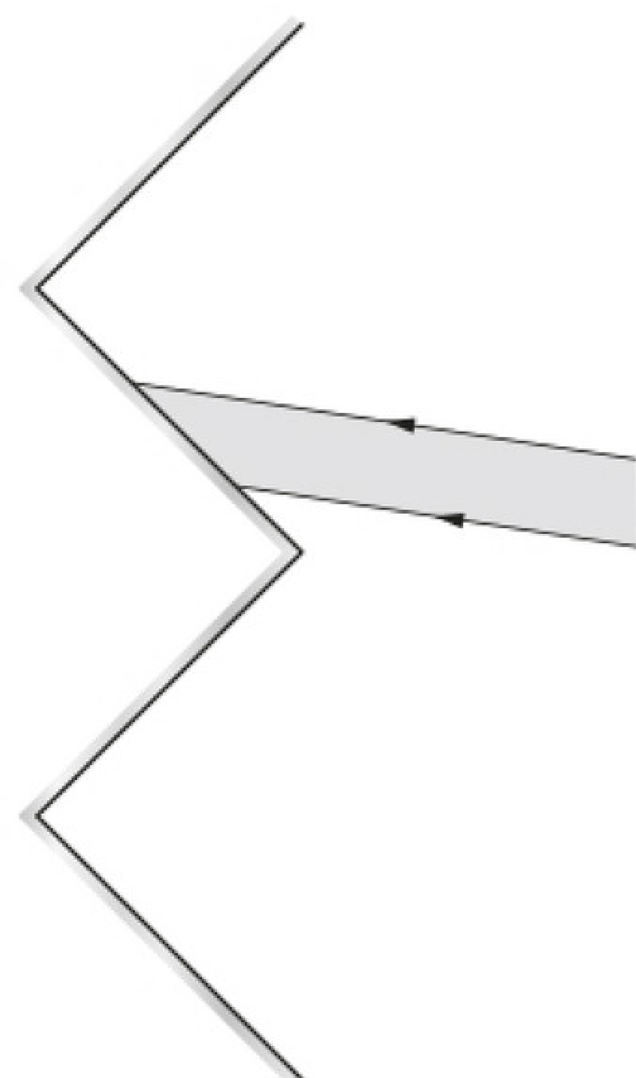
10 Bekijk de fietser in figuur 16.

a Is de fietser (inclusief zijn fiets) een directe lichtbron? Legt uit.
b Wanneer wordt de fietser een indirecte lichtbron?
c Automobilisten kunnen de fietser beter zien als hij lichte kleding draagt. Leg uit hoe dat komt.
d Wat gebeurt er met licht dat op donkere kleding valt?
e Waarom is het minder veilig voor de fietser als het licht op de donkere kleding valt?
f De fietser in figuur 16 draagt een jas met reflectiestrepen. Leg uit of die strepen het licht van een auto diffuus of spiegelend weerkaatsen.
g Waardoor geven zulke reflectiestrepen extra veiligheid?



figuur 16 Reflecterende strepen geven extra veiligheid.

11 In figuur 17 is het oppervlak van een reflector in doorsnede getekend. Op de reflector valt een evenwijdige lichtbundel.
Teken hoe het licht wordt teruggekaatst.



figuur 17 Het oppervlak van een reflector.

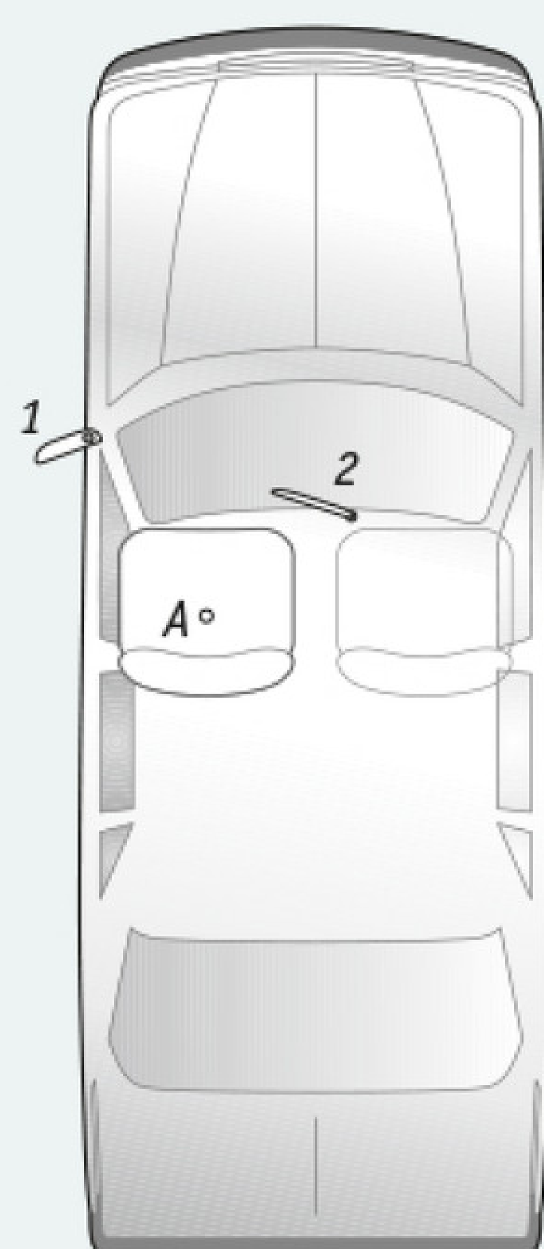


Test je kennis met de *Test Jezelf*.

EXTRA HET GEZICHTSVELD BIJ SPIEGELS

12 Een automobilist (getekend als punt A in figuur 18) kijkt eerst in de binnenspiegel en daarna in de zijspiegels van zijn auto.

- **a** Kleur het gebied dat hij via de binnenspiegel kan overzien blauw.
- **b** Kleur het gebied dat hij via de linker zijspiegel kan overzien groen.
- **c** Kleur de zogenaamde dode hoek rood.
- **d** Hoe kan hij ervoor zorgen dat hij ook medeweggebruikers in de dode hoek kan zien?



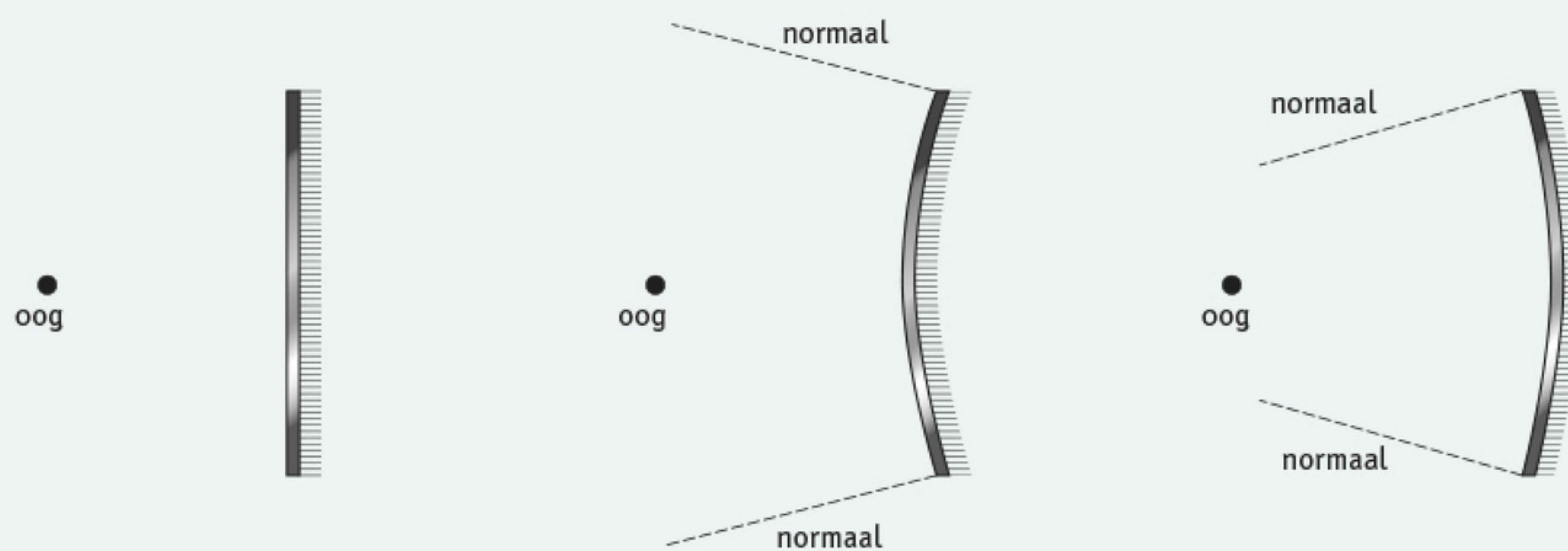
figuur 18 Wat ziet een automobilist in zijn spiegels?

13 De drie spiegels in figuur 19 hebben elk een ander gezichtsveld.

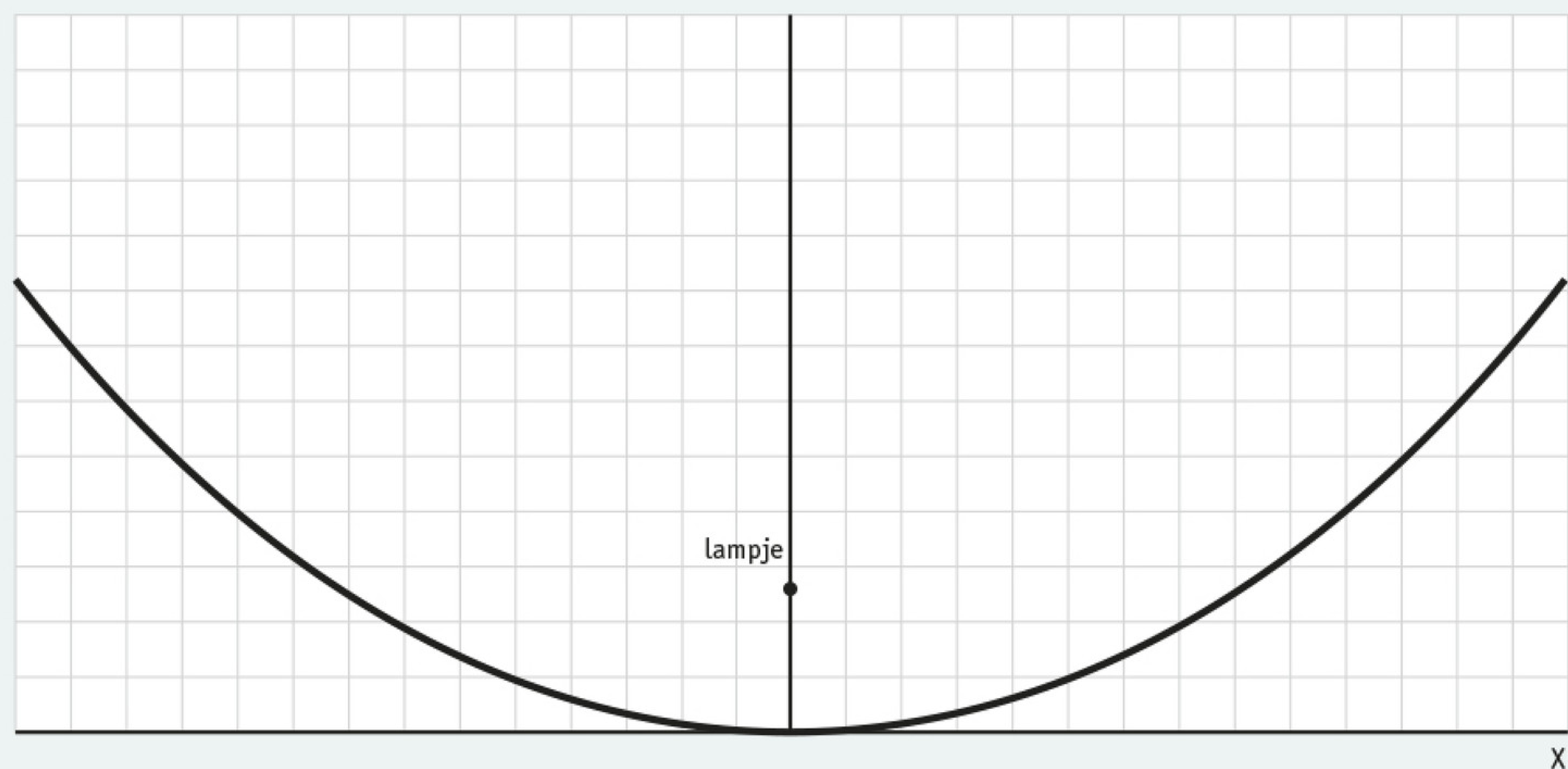
a Construeer het gezichtsveld van de drie spiegels.

b Met welke spiegel kun je het grootste gebied overzien?

figuur 19 Het gezichtsveld van drie spiegels.



★ 14 Holle spiegels kom je tegen als reflectoren in de koplampen van een fiets of auto. Ze hebben dan een parabolische vorm, net als schotelantennes.
Construeer in figuur 20 met zes lichtstralen in verschillende richtingen hoe het licht, dat uit het ronde lampje komt, de koplamp verlaat.



figuur 20 De reflectie van een holle spiegel.

4 Infrarode en ultraviolette straling

LEERDOELEN

6.4.1 Je kunt beschrijven waar infrarode en ultraviolette straling zich in het spectrum bevinden.
6.4.2 Je kunt kenmerken noemen van infrarode en ultraviolette straling.
6.4.3 Je kunt toepassingen noemen van infrarode en ultraviolette straling.
6.4.4 Je kunt uitleggen wat de gevaren zijn van ultraviolette straling.
EXTRA 6.4.5 Je kunt uitleggen waardoor het broeikaseffect wordt veroorzaakt.

TAXONOMIE	LEERDOELEN					
	6.4.1	6.4.2	6.4.3	6.4.4	6.4.5	6.1.3*
Onthouden		1ad, 7abe	1bc, 2abcd	7cdf	11abc	
Begrijpen	1e	3ab, 4a, 8	8	5a, 6b, 9a		
Toepassen				5b, 6ac, 9b	12ac, 13	4b
Analyseren				10ab	12bd	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

Astronomen kijken al eeuwen naar de hemel. In het verleden konden ze alleen objecten zien die zichtbaar licht uitzonden en dan hadden ze ook nog last van de atmosfeer. Tegenwoordig kunnen astronomen hun telescopen boven de dampkring in satellieten plaatsen.

INFRARODE STRALING

Er zijn telescopen die geen zichtbaar licht, maar andere soorten straling waarnemen, bijvoorbeeld infrarode en ultraviolette straling. Vooral de foto's van de *Hubble Space Telescope* hebben daardoor ons beeld van het heelal sterk veranderd (figuur 1).



figuur 1 Een foto gemaakt door de *Hubble* ruimtetelescoop.

Infrarode straling kun je goed voelen als je je hand bij een vuurtje houdt. Alle voorwerpen, maar ook mensen en dieren, zenden **infrarode straling** (ir-straling) uit. Hoe hoger de temperatuur van een voorwerp, des te meer straling het uitzendt. Net als zichtbaar licht kan infrarode straling als een golf worden voorgesteld.

Warmtelampen zenden, behalve een beetje rood licht, vooral veel infrarode straling uit. Ze worden gebruikt om pasgeboren jonge dieren warm te houden, maar je komt ze ook tegen in terrasverwarmingen en infraroodsauna's. Mensen en dieren ervaren de straling die deze lampen uitzenden als 'aangenaam warm'.

Infrarode straling wordt toegepast in de afstandsbediening van apparaten. In zo'n afstandsbediening zit een led die infrarode straling produceert. Als je op een knopje drukt, zendt de led een reeks infrarode 'flitsen' uit. Dit signaal wordt opgevangen door een infraroodsensor in het apparaat en daarna verwerkt door de elektronica.

Infraroodsensoren vind je ook in alarminstallaties en in winkeldeuren die automatisch openen en sluiten. Het leger gebruikt nachtkijkers die infrarode straling omzetten in een zichtbaar beeld. Telecommunicatie gaat steeds vaker via glasvezels waardoorheen een smalle bundel infrarode straling wordt gestuurd. Bij de verzender wordt eerst een elektrisch signaal omgezet in een ir-signaal en bij de ontvanger gebeurt het omgekeerde.

Een bijzondere toepassing van infrarode straling is het onderzoeken van schilderijen. Als een schilderij hiermee beschenen wordt, worden de lagen eronder zichtbaar. Bijvoorbeeld de schets waarmee de kunstenaar aan het schilderij is begonnen (figuur 2). Kunstonderzoekers kunnen zo ontdekken of een schilderij later nog is aangepast.

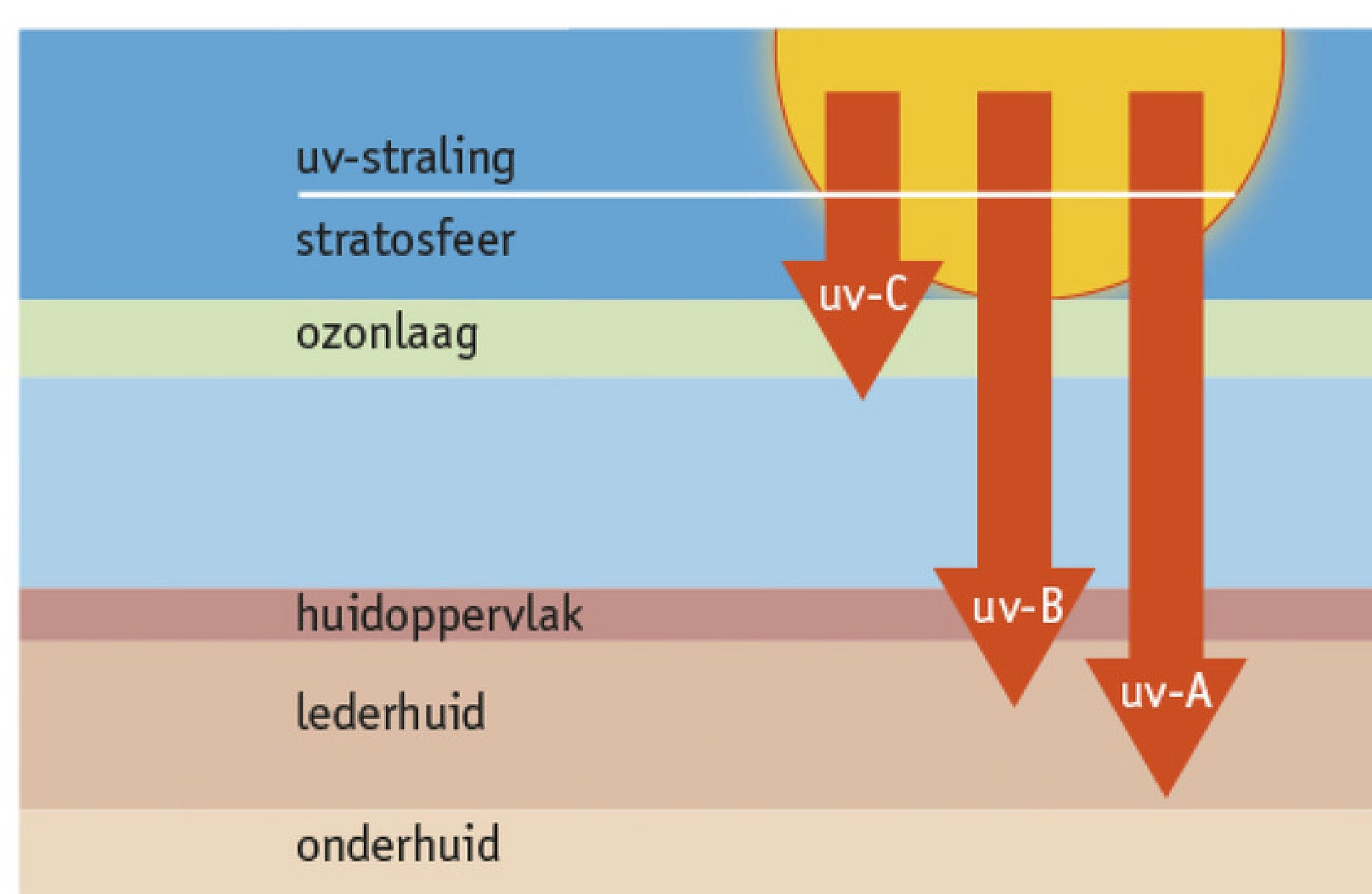


figuur 2 Een schilderij onderzoeken met infrarode straling.

ULTRAVIOLETTE STRALING

Infrarode straling heeft een golflengte die net wat groter is dan die van zichtbaar licht. In het spectrum ligt **ultraviolette straling** (uv-straling) aan de andere kant van zichtbaar licht. De golflengte van ultraviolette straling is dus korter dan die van zichtbaar licht. Net als infrarode straling is ultraviolette straling onzichtbaar voor mensen. Sommige dieren zijn wel in staat infrarode of ultraviolette straling waar te nemen.

De voornaamste bron voor ultraviolette straling op aarde is de zon. Alle ultraviolette straling is schadelijk voor de huid (figuur 3). Uv-A-straling en uv-B-straling kunnen door de huid dringen. Uv-C-straling bereikt de aarde niet.



figuur 3 Alle ultraviolette straling is schadelijk voor de huid.

- Uv-A-straling (tussen 315 nm en 400 nm) vormt het grootste deel van de ultraviolette straling. Deze straling wordt niet tegengehouden door bewolking of glas en ze is het hele jaar door aanwezig. Ze veroorzaakt huidveroudering, rimpels, huidvlekjes en melanoom, de gevaarlijkste vorm van huidkanker. Uv-A-straling veroorzaakt ook het verkleuren van stoffen en verf.
- Uv-B-straling (tussen 280 nm en 315 nm) vormt een klein gedeelte (ongeveer 2%) van de ultraviolette straling. In Nederland bereikt deze straling haar hoogtepunt tussen 12 en 15 uur. Uv-B-straling zorgt voor een bruine tint van de huid en voor de aanmaak van vitamine D. Maar de uv-B-straling van de zon beschadigt daarnaast de buitenste laag van de huid, veroorzaakt zonnebrand en vergroot de kans op huidkanker.
- Uv-C-straling (tussen 100 nm en 280 nm) wordt tegengehouden door de ozonlaag en bereikt de aarde dus niet. Gelukkig maar, want deze straling is bijzonder gevaarlijk voor de huid en de ogen. Uv-C-straling zet zuurstof om in ozon en draagt bij aan het in stand houden van de ozonlaag.

Bij zonnebrand wordt de huid eerst rood, daarna zwelt de huid op en kunnen er blaren ontstaan. In het ergste geval ontstaan er zelfs brandwonden. Vandaar dat mensen worden opgeroepen om 'verstandig te zonnen' en zonnebrandcrème te gebruiken die de ultraviolette straling absorbeert (figuur 4).



figuur 4 Een petje of hoedje beschermt de gevoelige gezichtshuid tegen ultraviolette straling.

UV-LAMPEN

PROEF 6

Kunstmatige bronnen van ultraviolette straling zijn de **uv-lampen** in zonnebanken, fotokopieerapparaten en de blacklightlampen in discotheken. Je herkent ze aan hun violette licht. De veel sterkere ultraviolette straling die ze uitzenden, zie je niet. Zonnebanken zenden ongeveer zes keer meer uv-A-straling uit dan natuurlijk zonlicht in een mediterraan land in de middag.

Ultraviolette straling kan sommige stoffen sterk laten oplichten. Dit wordt **fluoresceren** genoemd. Fluorescerende stoffen worden onder andere toegepast in tl-buizen en bankbiljetten. Onder een uv-lamp licht de fluorescerende inkt van een echt bankbiljet duidelijk op. Een vervalsing waarbij geen fluorescerende inkt is gebruikt, licht niet op (figuur 5).

Er zijn ook uv-lampen die ultraviolette straling met een relatief korte golflengte uitzenden. Deze lampen worden gebruikt om werkbladen in laboratoria te ontsmetten. Dat wordt steriliseren genoemd (figuur 6).



figuur 5 Een bankbiljet wordt gecontroleerd onder een uv-lamp.



figuur 6 Met uv-lampen kan een werkplek in een lab gesteriliseerd worden.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA BROEIKASEFFECT

Broeikassen worden door mensen gebruikt om bijvoorbeeld groenten en fruit te verbouwen (figuur 7). In een broeikas kan de temperatuur een stuk hoger zijn dan buiten de broeikas. De atmosfeer rond de aarde werkt ook als een broeikas. Dit wordt het broeikaseffect genoemd en is zeer belangrijk voor het leven op aarde. Zonder broeikaseffect zou de het op aarde gemiddeld –18 °C zijn in plaats van de huidige +15 °C.



figuur 7 Broeikassen.

Het broeikaseffect op aarde ontstaat doordat een deel van het zonlicht door de aarde wordt geabsorbeerd. De aarde straalt vervolgens deze warmte grotendeels weer uit in de vorm van infrarode straling. Deze infrarode straling wordt door de atmosfeer geabsorbeerd en weer uitgestraald in alle richtingen. Een deel daarvan wordt weer terug naar de aarde teruggekaatst (figuur 8). Hierdoor warmt de aarde op.

Een aantal gassen veroorzaakt het broeikaseffect, de zogenaamde broeikasgassen. Het bekendste broeikasgas is CO_2 (koolstofdioxide). Door de verbranding van veel fossiele brandstoffen in de afgelopen twee eeuwen, is er meer CO_2 in de atmosfeer gekomen en is het broeikaseffect versterkt. Hierdoor is de temperatuur ongeveer 1 °C gestegen.



figuur 8 Het broeikaseffect op aarde. De gele pijlen stellen zichtbaar licht voor, de rode pijlen infrarode straling.

1

Beantwoord de volgende vragen.

- **a** Waaraan kun je merken dat een hete radiator infrarode straling uitzendt?
- **b** Hoe geeft een afstandsbediening jouw commando's door aan de tv?
- **c** Wat voor straling zenden uv-lampen nog meer uit, naast ultraviolette straling?
- **d** Wat zie je als er ultraviolette straling op een fluorescerende stof valt?
- **e** Verklaar de aanduiding 'ultraviolet'.

2

Hieronder staan vier bronnen van ir- of uv-straling.
Welke soort straling (ir of uv) wordt uitgezonden door:

- **a** een blacklightlamp? *ir / uv*
- **b** een terrasverwarmer? *ir / uv*
- **c** een warmtelamp? *ir / uv*
- **d** een zonnebank? *ir / uv*

3

Mensen, dieren en voorwerpen worden warm als ze infrarode straling absorberen.
Leg uit hoe het komt:

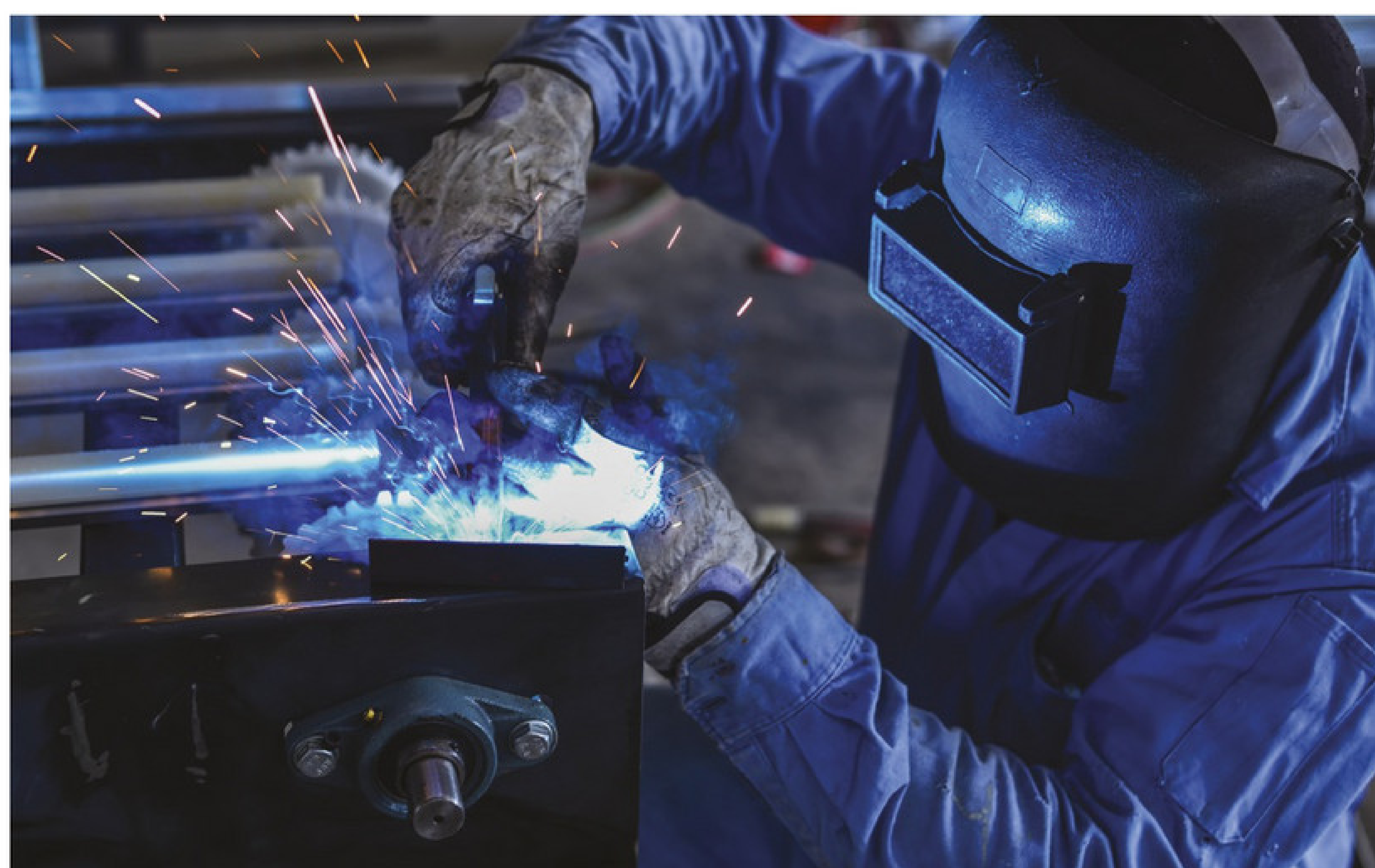
- **a** dat een kip in een grill voortdurend rond moet draaien om gelijkmatig bruin te worden.
- **b** dat het helpt om je stoel een meter naar achteren te schuiven als je het bij een open haard te heet vindt worden.

4

Lassers dragen een lashelm (figuur 9). Het glas dat in zo'n helm zit, absorbeert infrarode straling, licht en ultraviolette straling.

a Stel dat de lasser géén helm zou dragen.
Welk soort straling zou dan:
- de lasser tijdens het lassen te veel verblinden?
- de ogen van de lasser blijvend beschadigen?
- het gezicht van de lasser erg heet maken?

b Welk soort straling mag niet volledig tegengehouden worden en waarom?



figuur 9 Lasser met een laskap.

5

Zonnebrandcrème kan een deel van de ultraviolette straling van de zon tegenhouden. Als je zo'n crème gebruikt, verbrand je minder snel. Op de verpakking staat de beschermingsfactor vermeld. Dit getal geeft aan hoeveel keer je langer in de zon kunt blijven als je je hebt ingesmeerd. Een crème met factor 10 maakt die tijd bijvoorbeeld tien keer zo lang. Als je zonder crème vijf minuten kunt zonnen, wordt dat met de crème dus 10 × 5 = 50 minuten.

a Leg uit waarom het werkzame deel van zonnebrandcrème ook wel een uv-filter wordt genoemd.

b Een fabrikant van zonnebrandolie geeft voor verschillende huidtypes (I, II en III) de zontijd-zonder-olie, de geadviseerde beschermingsfactor en de maximale zontijd-met-olie. Zie tabel 1.
Vul in de tabel de ontbrekende getallen in.

tabel 1 Zonnetabel.

huidtype	I	II	III
zontijd-zonder-olie (in min)	15		25
beschermingsfactor	20	12	
zontijd-met-olie (in min)		300	200

6

Sneeuwblindheid is een ontsteking van het hoornvlies. Je krijgt deze aandoening als je te veel ultraviolette straling in je oog krijgt.

a Hoe zou het komen dat vooral wintersporters hier last van kunnen krijgen?

b Waarom loop je in Nederland weinig risico op sneeuwblindheid?

c Wat zou je kunnen doen om je tegen sneeuwblindheid te beschermen?

7 Beantwoord de volgende vragen.

a Bij welke golflengten noem je straling ultraviolette straling?
- ○ A minder dan 400 nm
- ○ B tussen 400 en 750 nm
- ○ C meer dan 750 nm

b Wat wordt bedoeld met de aanduidingen uv-A, uv-B en uv-C?

c Welke van deze soorten uv-straling is verantwoordelijk voor huidveroudering?

d Welke straling is verantwoordelijk voor het bruin worden van de huid?

e Welke straling is nodig voor de aanmaak van vitamine D in het lichaam?

f Hoe kun je je beschermen tegen de schadelijke effecten van ultraviolette straling van de zon?

8 Doe thuis een onderzoekje met de afstandsbediening van de televisie. Probeer of je met de afstandsbediening via een spiegel, een boek of een muur de televisie kunt bedienen. Welke conclusies kun je trekken?

9 Uv-C-lampen worden soms ingezet om te desinfecteren. Uv-C-straling doodt namelijk in korte tijd 99% van de bacteriën en virussen. Er worden tegenwoordig zelfrijdende wagentjes met grote uv-C-lampen erop gebruikt om grotere ruimtes in een korte tijd te desinfecteren.

a Leg uit waarom het veiliger is om zelfrijdende wagentjes te gebruiken in plaats van mensen.

b Een stoel die onder een tafel staat, kan soms niet goed gedesinfecteerd worden. Leg uit waardoor dit komt.

10 Kleine voorwerpen kunnen gedesinfecteerd worden met een desinfectiekabinet (figuur 10). Dit is een soort oven, maar dan met uv-C-lampen bovenin.

a Leg uit waarom de wanden van het kabinet glanzend zijn.

b Waarom zijn de voorwerpen na desinfectie niet schadelijk?



figuur 10 Desinfectiekabinet.

 Test je kennis met de *Test jezelf.*

EXTRA BROEIKASEFFECT

11 Vul in.

a In een broeikas kan de .... een stuk ....

zijn dan buiten de broeikas.

b Infrarode straling wordt door de atmosfeer .... en weer

.... in alle richtingen.

c Door de verbranding van .... brandstoffen komt er meer .... in

de atmosfeer

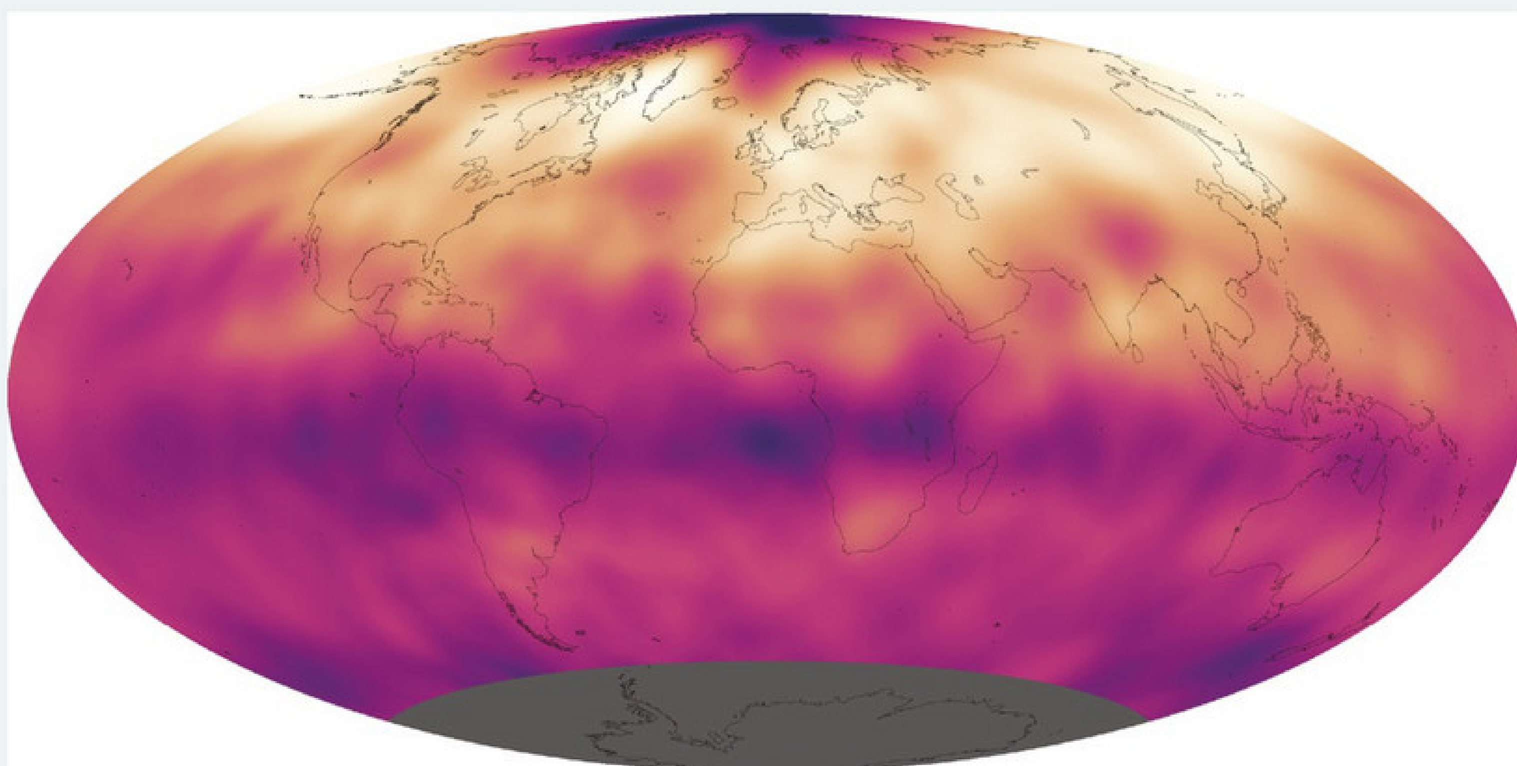
12 In de oceanen zit veel CO_2 opgelost. Net zoals CO_2 die in frisdrank opgelost is, ontsnapt CO_2 uit de vloeistof als de temperatuur stijgt.

a Leg uit waarom dit het broeikaseffect versterkt.

b In de permanent bevroren bodem van het noordpoolgebied zit veel CO_2 en methaan in het ijs gevangen. Methaan is een gas dat een nog sterker broeikaseffect heeft dan CO_2. Leg uit hoe het methaan kan vrijkomen door een versterking van het broeikaseffect.

c In figuur 11 zie je een satellietbeeld, gemaakt met een speciale infraroodcamera. Hierop is heel nauwkeurig de hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer te zien. Dit wordt weergegeven in ppm (*parts per million*), wat het aantal moleculen per miljoen luchtmoleculen betekent. In 1750 was de hoeveelheid CO_2 280 ppm.
Met hoeveel procent is de hoeveelheid CO_2 minimaal toegenomen sinds 1750?

d In het satellietbeeld zie je gebieden waar de CO_2-concentratie groter is dan in andere gebieden.
Geef een verklaring voor die verschillen in CO_2-concentratie.



figuur 11 Hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer.

13 Om het broeikaseffect af te remmen, is het nodig om CO_2 uit de lucht te halen. Een manier om dit te doen, is het planten van bomen. Een boom haalt in 50 jaar tijd gemiddeld 1 ton (1000 kg) CO_2 uit de lucht. Een gemiddeld Nederlands huishouden produceert per jaar 20 ton CO_2. Om CO_2-neutraal te zijn, moet er evenveel CO_2 uit de lucht gehaald worden als er geproduceerd wordt.
Hoeveel bomen moeten er per huishouden per jaar geplant worden, om CO_2-neutraal te zijn?

Practica

PROEF 1 EEN SPECTROSCOOP MAKEN

20 minuten

Inleiding
Als er op een zonnige dag een regen- of onweersbui overkomt, zie je soms een regenboog. De zon schijnt dan op de waterdruppels die het zonlicht in verschillende kleuren splitsen. Ook met een spectroscoop kun je wit licht splitsen in de verschillende kleuren waaruit het bestaat.

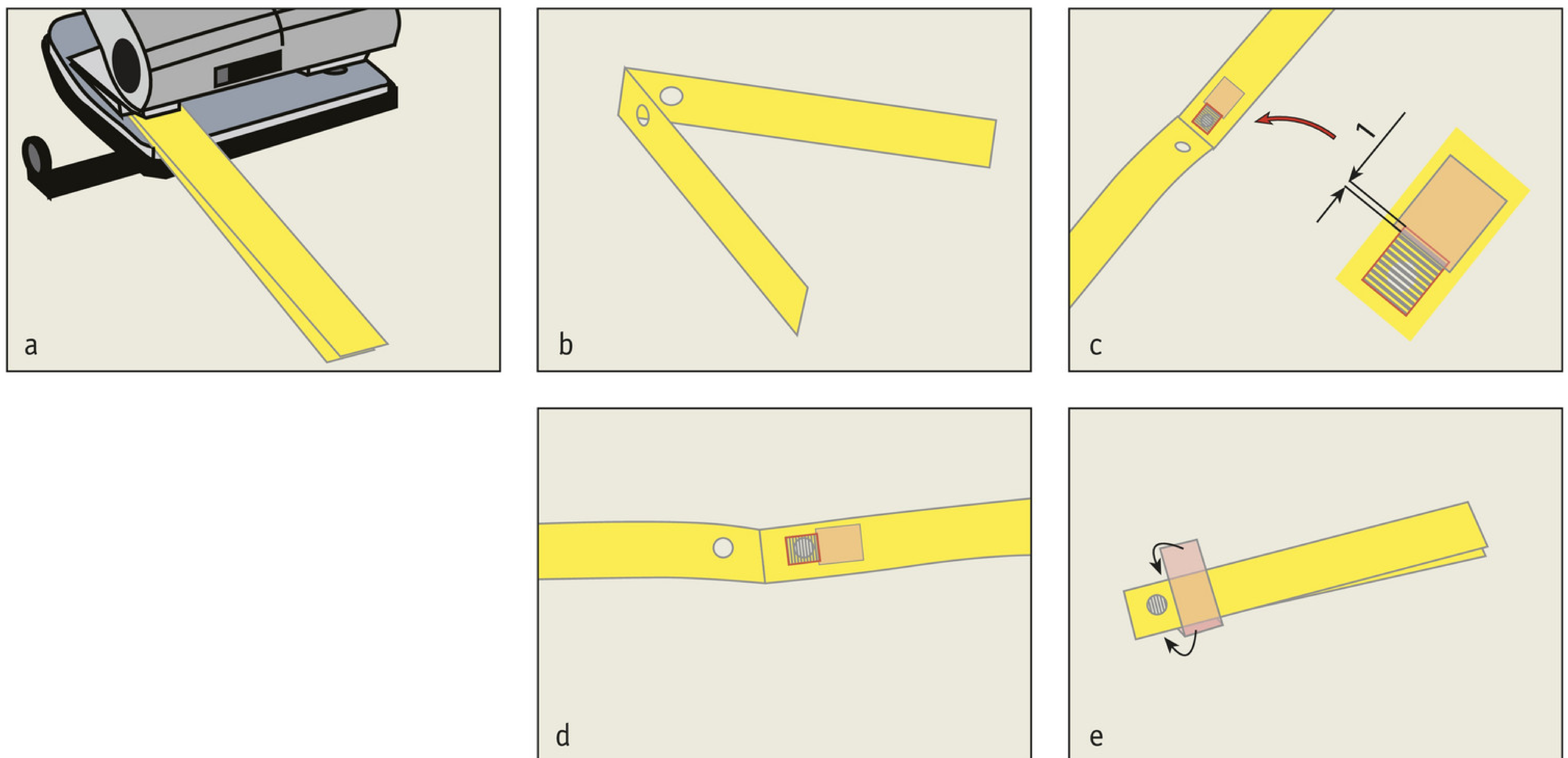
Doel
In deze proef maak je zelf een eenvoudige spectroscoop.

Nodig
- ☐ stukje traliefolie
- ☐ strook karton
- ☐ plakband
- ☐ perforator

Let op! Eén kant van het traliefolie (herkenbaar aan een licht waas) is heel kwetsbaar. Raak die kant niet met je vingers aan.

Uitvoeren en uitwerken
Een spectroscoop maken
- Vouw de strook karton dubbel, met de korte kanten op elkaar.
- Schuif de vouw in de perforator (figuur 1a). Maak vlak bij de vouw een perforatie (figuur 1b).
- Scheur een klein stukje plakband af en plak dat op de rand van het traliefolie (met 1 mm overlap).
- Gebruik het plakband om het traliefolie op de perforatie in de strook te leggen (figuur 1c).
- Druk het plakband stevig aan, om het traliefolie op deze plaats vast te maken (figuur 1d).
- Vouw de strook weer dubbel. Maak de stroken vlak onder de perforatie met een stukje plakband aan elkaar vast (figuur 1e).

figuur 1 Zo maak je je eigen spectroscoop.



Een spectroscoop gebruiken

- Houd de spectroscoop vlak voor een oog en kijk net naast een lichtbron. Je ziet dan de kleuren waaruit het licht bestaat.
- Kijk door de spectroscoop naar buiten, maar NIET recht in de richting van de zon!

1 Uit welke kleuren bestaat het daglicht?

....

....

- Kijk door de spectroscoop naar verschillende bronnen van wit licht.

2 Heeft het licht van deze lichtbronnen dezelfde samenstelling als zonlicht? Waaraan zie je dat?

....

....

....

PROEF 2 DE SPECTRA VAN LAMPEN

30 minuten

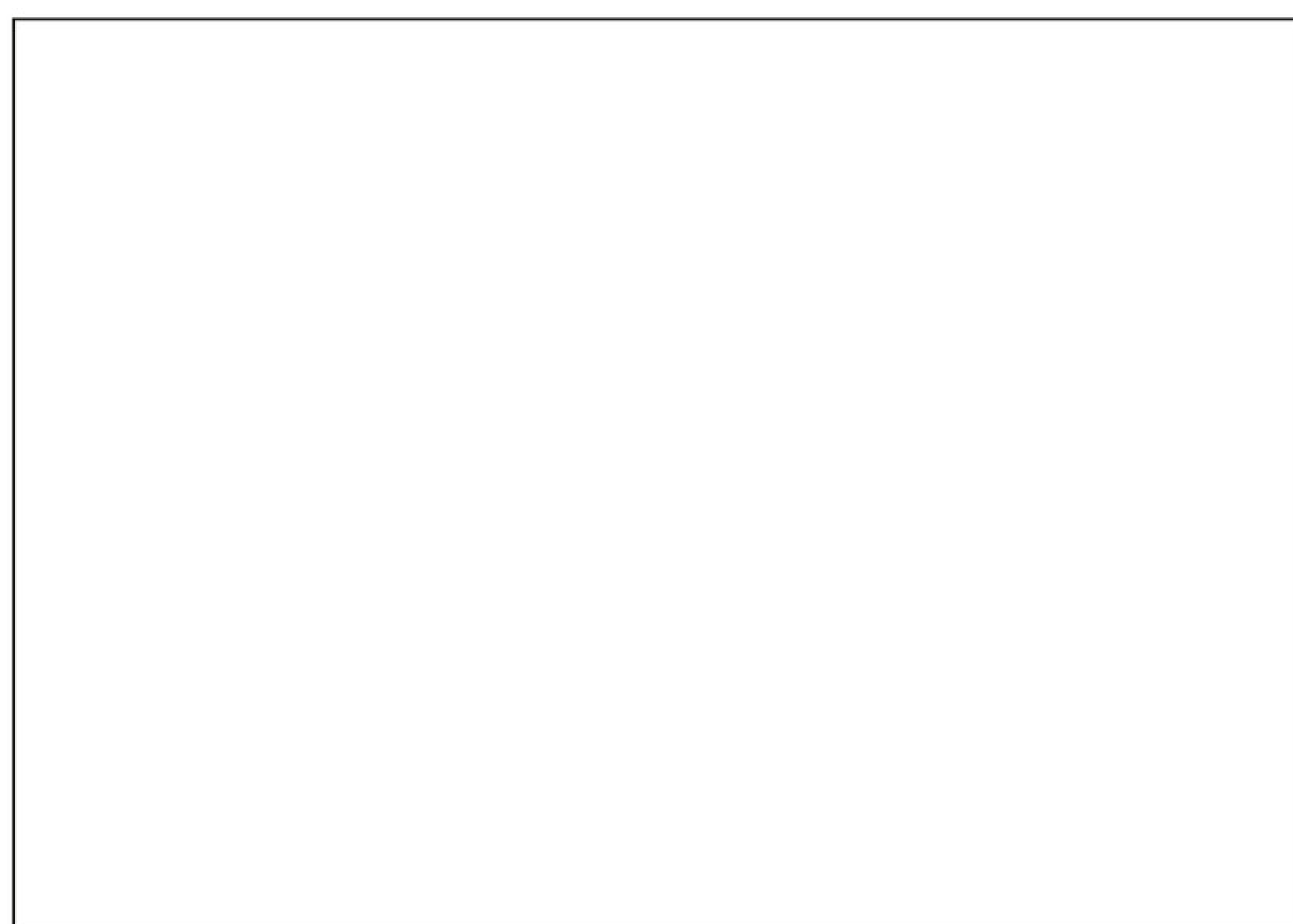
Inleiding
Het licht van een lamp bestaat uit verschillende kleuren. Als je het lamplicht door een spectroscoop bekijkt, zie je de verschillende kleuren naast elkaar. Zo'n reeks kleuren noem je het spectrum van de lamp.

Doel
Bij deze proef onderzoek je hoe het spectrum van verschillende lampen eruitziet.

Nodig
- ☐ spectroscoop
- ☐ tl-buis
- ☐ natriumlamp
- ☐ sl-spaarlamp
- ☐ halogeenlamp
- ☐ kwiklamp
- ☐ kleurpotloden

Uitvoeren en uitwerken
- Gebruik de spectroscoop om het spectrum van de verschillende lampen te bekijken.

1 Teken met kleurpotloden de spectra van de lampen na.



2 Welke lamp geeft maar één kleur licht?

....

PROEF 3 KERNSCHADUW EN HALFSCHADUW

15 minuten

Inleiding

Met twee lampen boven een tafelblad krijg je andere schaduwen dan met één lamp. Vaak kun je dan een donkere kernschaduw zien, tussen twee lichtere halfschaduwen.

Doel

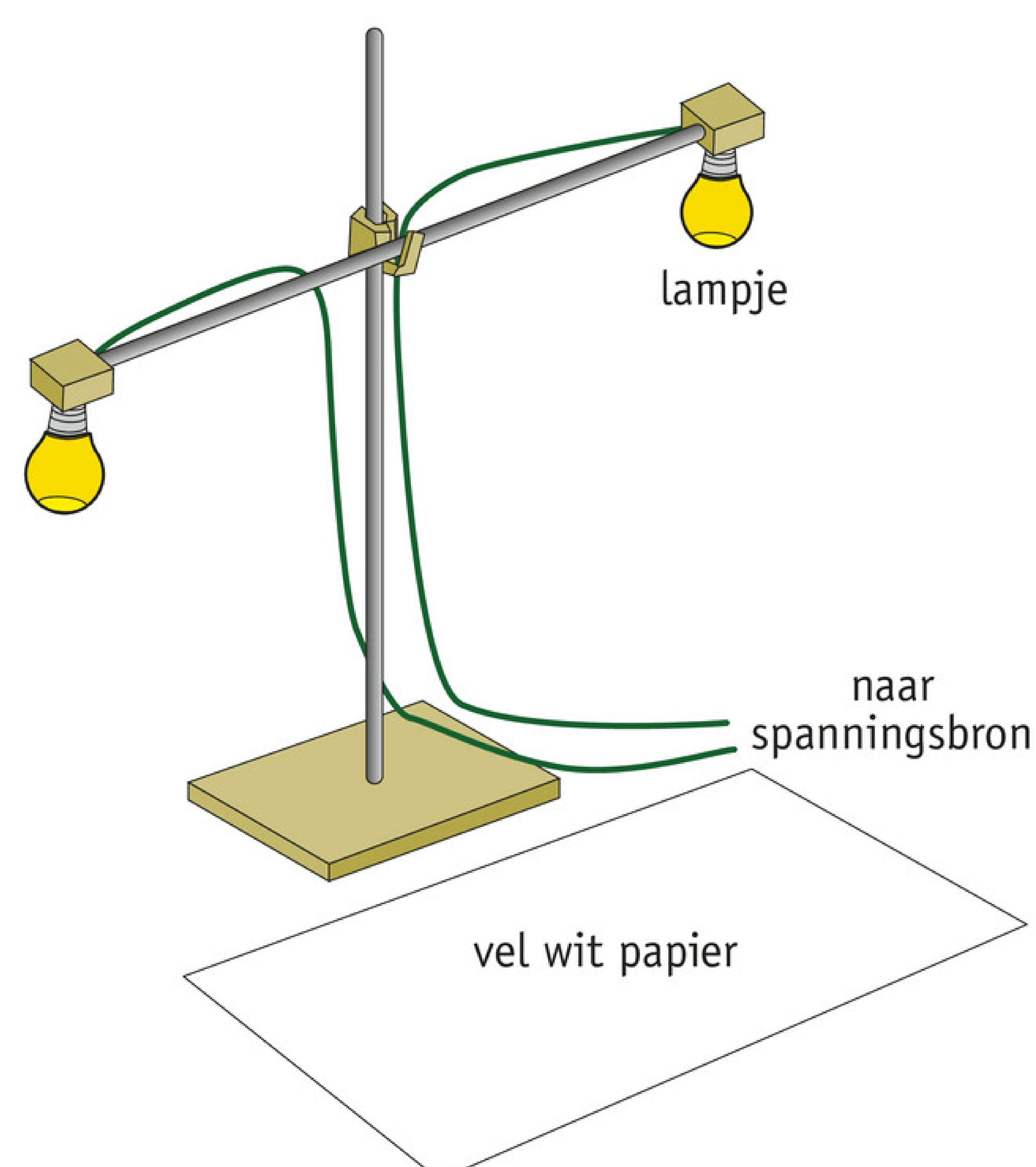
Bij deze proef onderzoek je hoe je een kernschaduw en halfschaduwen kunt laten ontstaan.

Nodig

- ☐ statief met klemmen
- ☐ 2 lampjes
- ☐ spanningsbron
- ☐ snoeren
- ☐ vierkant stukje karton
- ☐ vel wit papier

Uitvoeren en uitwerken

- Maak de opstelling van figuur 2.
- Houd het kartonnen vierkantje tussen de lampjes en het vel papier. Beweeg het kartonnetje op en neer.



figuur 2 De opstelling van proef 3.

1 Beschrijf hoe je de schaduwen ziet veranderen:

a als je het kartonnetje omhoog beweegt, richting de lampjes;

....

....

....

....

b als je het kartonnetje omlaag beweegt, richting het vel papier.

....

....

- Houd het kartonnetje zo dat je twee lichtere schaduwen naast elkaar ziet zonder dat deze elkaar overlappen. Dit noem je halfschaduwen.
- Draai het linker lampje los zodat het uitgaat.

2 Welke halfschaduw verdwijnt nu? Hoe komt dat?

....

....

- Draai het linker lampje weer vast, zodat je opnieuw twee halfschaduwen ziet. Houd het kartonnetje nu zo dat de twee halfschaduwen elkaar overlappen.

3 Hoe ziet de kernschaduw eruit (het gebied waar de twee halfschaduwen over elkaar heen vallen)?

....

....

4 Schets hoe de schaduwen eruitzien. Schrijf de namen kernschaduw en halfschaduw op de juiste plaatsen in je tekening.



PROEF 4 DE SPIEGELWET

15 minuten

Inleiding

Met een spiegeltje kun je het licht van de zon weerkaatsen naar een muur. Je ziet dan op één plaats een lichtvlek verschijnen. Als je het spiegeltje beweegt, beweegt de lichtvlek mee. Zou je kunnen voorspellen waar het zonlicht terechtkomt?

Doel

Bij deze proef onderzoek je in welke richting een spiegel licht weerkaatst.

Nodig

- ☐ spiegel
- ☐ lichtkastje
- ☐ diafragma met één opening

Uitvoeren en uitwerken

- Zet de spiegel op de in figuur 3 aangegeven plaats.
- Schuif het diafragma met één opening in het lichtkastje.
- Laat een lichtstraal op de spiegel vallen, zoals in de figuur getekend is. De hoek van inval is hier 30 °.
- Bepaal bij elke hoek van inval de hoek van terugkaatsing.

1 Noteer de meetresultaten in de tabel.

tabel 1 De meetresultaten van proef 4.

hoek van inval *i*	hoek van terugkaatsing *t*
10°	
20°	
30°	
40°	
50°	
60°	
70°	
80°	

2 Welke conclusie kun je trekken?

....

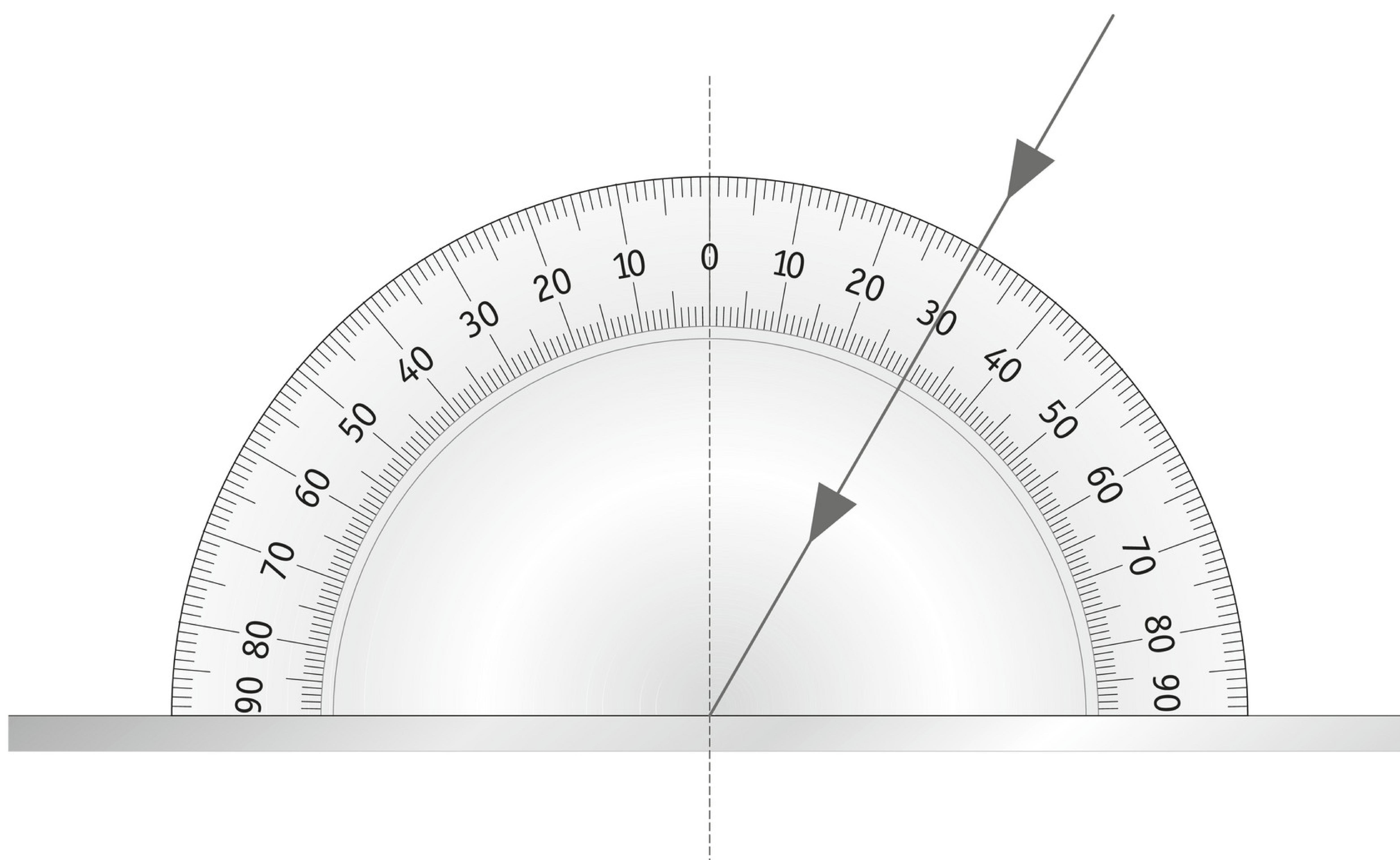
....

....

....

....

....



figuur 3 Gebruik deze tekening bij proef 4.

PROEF 5 DE PLAATS VAN HET SPIEGELBEELD

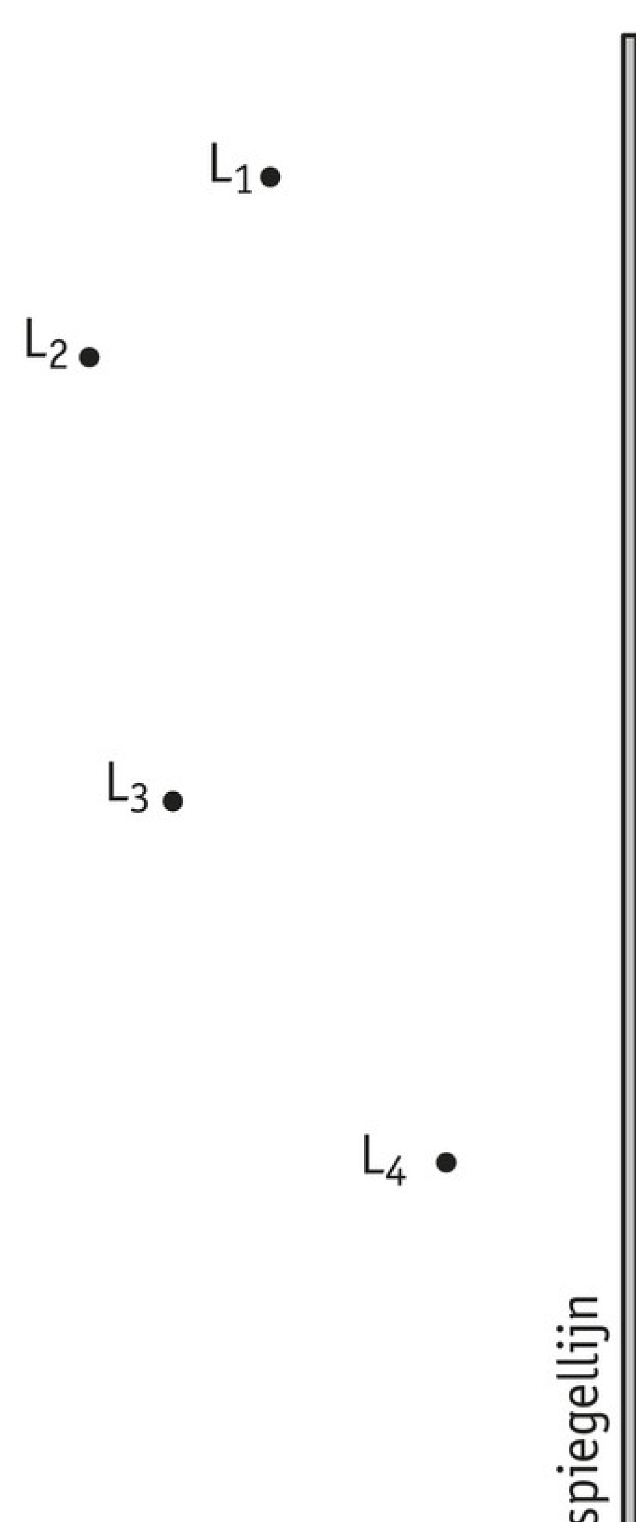
20 minuten

Inleiding
Het spiegelbeeld dat ontstaat van een voorwerp voor de spiegel, is een schijnbeeld.

Doel
Je onderzoekt op welke plaats je dit schijnbeeld waarneemt.

Nodig
☐ spiegel
☐ spiegelhouder

Uitvoeren en uitwerken
- Zet de spiegel op de in figuur 4 aangegeven plaats, loodrecht op het papier.
- Zet een stip op de plaats waar je het spiegelbeeld van L_1 ziet. Zet er B_1 bij.
- Doe hetzelfde met de punten L_2, L_3 en L_4 en zet bij de beeldpunten respectievelijk B_2, B_3 en B_4.
- Verbind L_1 met B_1, L_2 met B_2 enzovoort.



figuur 4 De plaats van het spiegelbeeld.

1 Wat kun je zeggen over de plaats van het spiegelbeeld?

....

....

....

....

- Bekijk figuur 5. Teken met behulp van de spiegel het spiegelbeeld van de verschillende letters.



figuur 5 Een woord in spiegelbeeld.

PROEF 6 FLUORESCENTIE

15 minuten

Inleiding

Als een fluorescerende stof wordt beschenen met een uv-lamp, wordt de ultraviolette straling geabsorbeerd. Een deel van de geabsorbeerde straling wordt weer uitgezonden als zichtbaar licht: je ziet de stof 'oplichten'. Als uv-lamp kun je een zogenoemde blacklightlamp gebruiken.

Doel

Je onderzoekt de werking van een blacklightlamp. De onderzoeksvraag luidt:
Hoe zien bankbiljetten, reflecterende stroken op regenjassen en de inkt van een markeerstift eruit als ze met uv-licht worden beschenen?

Nodig

- ☐ blacklightlamp
- ☐ bankbiljetten
- ☐ veiligheidshesje met reflecterende stroken
- ☐ markeerstift
- ☐ vel wit papier
- ☐ gedeeltelijk verduisterde ruimte

Uitvoeren en uitwerken

- Schijn met de blacklightlamp op verschillende bankbiljetten.

1 Waar zie je fluorescentie optreden?

....

2 Beschrijf hoe de fluorescentie eruitziet.

....

....

- Schijn met de blacklightlamp op het vel wit papier

3 Treedt er nu fluorescentie op?

....

4 Hoe ziet het papier eruit?

....

....

- Maak met de markeerstift een eenvoudige figuur op het papier en bekijk die met de blacklightlamp.

5 Treedt er nu fluorescentie op?

....

6 Hoe ziet de getekende figuur eruit?

....

....

- Schijn met de blacklightlamp op het hesje met de reflecterende stroken.

7 Treedt er fluorescentie op?

....

8 Beschrijf hoe het hesje er nu uitziet.

....

....

PROEF 7 EEN ONDERZOEK UITVOEREN: SCHIMMENSPEL

45 minuten

Inleiding

In een schimmenspel, ook wel schaduwtheater genoemd, wordt een verhaal verteld met schaduwbeelden (figuur 6). Het publiek zit voor een doorschijnend scherm, de spelers zitten erachter. Het scherm wordt van achteren verlicht door een lamp. De spelers houden platte poppen (aan stokjes) voor de lamp zodat de schaduwen van de poppen op het scherm vallen. Door de poppen heen en weer te bewegen, kunnen de schaduwen op het scherm groter en kleiner gemaakt worden. Bij deze opdracht onderzoek je waar de grootte van zo'n schaduwbeeld van afhangt.



figuur 6 Een schimmenspel.

Doel

Bij deze proef werk je een manier uit om de grootte van een schaduw vooraf te voorspellen.

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

- Ga na welke manieren je kent om de waarde van een grootheid te voorspellen. Welke manier ga jij gebruiken?
- Formuleer de onderzoeksvraag (of onderzoeksvragen) die je bij dit onderzoek wilt beantwoorden.
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Wat ga je meten, welke practicumspullen heb je nodig, hoe ga je de metingen verwerken?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten.

- Je docent vertelt je of je een verslag van deze proef moet maken.

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

....

Je biologische klok



“Sinds een halfjaar heb ik een probleem. Het maakt niet uit hoe vroeg of hoe laat ik naar bed ga. Ik ben gewoon heel erg moe als ik voor elf uur opsta. Overigens kan ik wel gewoon om halfzes wakker worden als het moet, maar mijn lichaam heeft gewoon veel slaap nodig,” schrijft ‘Grandmommy’ op het forum van scholieren.com. Maar ze heeft geen schuldgevoel: “Het is typisch iets puberaals om met gemak minimaal twaalf uur te slapen, dat heeft met stoffen in je hersens te maken.”

Verslapen

‘Verslapen’ is een topic op het forum dat veel reacties oproept. ‘Paranoide’ schrijft: “Ik heb dat ook in zekere mate. Ik heb al van alles geprobeerd om m’n ritme goed te krijgen. Ik ging een tijdje rondom dezelfde tijd opstaan en naar bed. Het resultaat was dat ik urenlang wakker lag in bed, terwijl ik niet op mocht staan van mezelf. Ik probeerde homeopathische troep, maar die had geen effect. Zelfs nam ik een tijd lang zware slaapmiddelen, daarvan kreeg ik hallucinaties. Geen succes.”

Een anonieme scholier antwoordt met tips: “Ik ken het en vind het naar. In de zomer verslaap ik mezelf minder makkelijk dan in de winter, omdat het dan licht is. Dus in de winter zet ik een tijdschakelaar op mijn bureaulamp (naar & fel) en richt die op mijn bed. Ook zet ik een aantal wekkers en verplicht ik mezelf uit bed te stappen en mijn hoofd met koud water nat te maken als ik wakker word. Doorgaans helpt dit.”

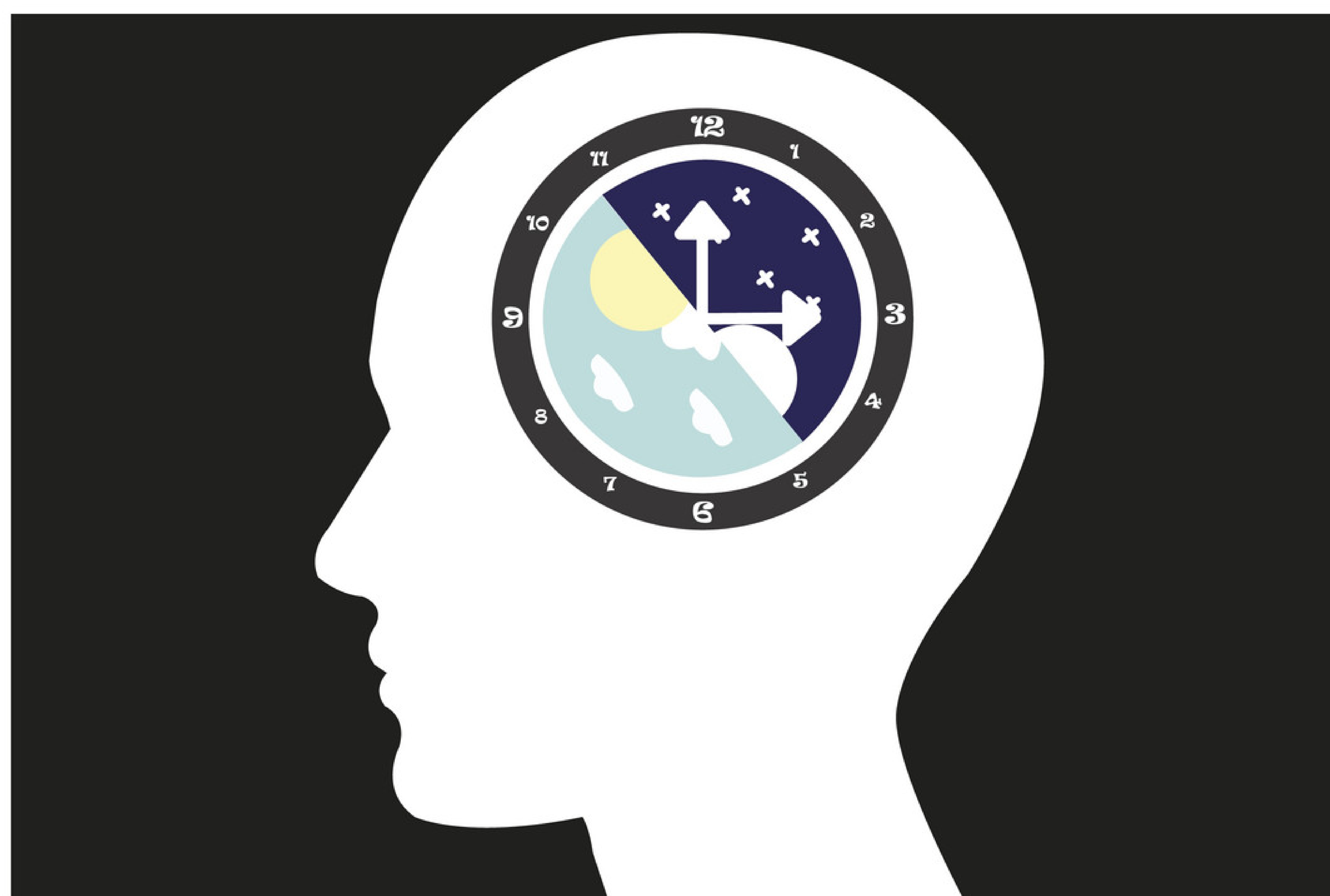
Niet lui maar puber

Waarom hebben zoveel scholieren veel moeite met opstaan in de ochtend? Als je van de basisschool af komt, moet je vaak langer reizen naar de middelbare school, die soms ook vroeger begint. Maar dat is niet het enige verschil. Onderzoekers hebben ontdekt dat je na de basisschool langer slaapt. Ook allerlei andere processen in je lichaam zijn dan verschoven naar een later tijdstip. Lang slapen heeft dus vooral een biologische oorzaak.

‘Grandmommy’ noemde op het forum al dat lang slapen te maken heeft met stoffen in je hersens. Een stof die een belangrijke rol speelt bij het slapen heet melatonine. Deze stof wordt in een soort dagritme door je lichaam aangemaakt en afgebroken. Gewoonlijk stijgt ’s avonds de hoeveelheid en ’s ochtends daalt deze weer. Als het donker wordt, neemt de melatonine toe en krijg je slaap. Licht kan dit ritme van melatonine verschuiven of verstoren.

Biologische klok

Bijna alle organismen op aarde hebben een dagelijks ritme in zich: de biologische klok (figuur 1). Die zorgt ervoor dat je goed kunt omgaan met de dagelijks terugkerende veranderingen in je omgeving, zoals licht en donker, hogere en lagere temperaturen. De biologische klok heeft dus invloed op processen in je lichaam, waaronder je gedrag.



figuur 1 Biologische klok.

De biologische klok zit in een gebied in je hersens dat uit ongeveer 20 000 zenuwcellen bestaat. Samen produceren deze cellen een ritme dat zich ongeveer om de 24 uur herhaalt. De dagelijkse afwisseling van licht en donker zorgt ervoor dat de biologische klok elke dag ongeveer 'gelijkloopt'.

Vroeger, toen er nog geen elektrische verlichting was, was het 's avonds echt donker. Nu is het gemakkelijk om overal licht aan te doen. En steeds vaker kijk je naar de lichtgevende schermen van je telefoon, tablet, laptop of tv. Dit licht kan het ritme van je biologische klok verstoren en daarmee je slaapritme. Als je te weinig slaapt, is je geheugen slechter en ben je minder alert. Als je langere tijd slecht slaapt, heb je zelfs kans dat je agressief of depressief wordt.

Hogere cijfers

In 2014 hebben twee leerlingen van een middelbare school in Hardenberg, samen met de Rijksuniversiteit Groningen, voor hun profielwerkstuk onderzoek gedaan naar het slaaptekort

SCHERMKLEUREN

Een beeldscherm is opgebouwd uit lichtgevende streepjes, puntjes of vierkantjes die subpixels worden genoemd. Wat hun vorm ook is, de subpixels hebben bijna altijd dezelfde drie kleuren: rood, groen en blauw. Dat kun je zien als je een beeldscherm bekijkt met een sterk vergrootglas. Van een normale afstand bekeken smelten de afzonderlijke subpixels samen tot één beeld met allerlei kleuren.



Elke subpixel kan apart in- en uitgeschakeld worden. In een rood stukje beeld lichten alleen de rode subpixels op, in een groen stukje beeld alleen de groene subpixels enzovoort. Andere kleuren worden gemaakt door rood, groen en blauw licht met elkaar te mengen. Geel wordt bijvoorbeeld gemaakt door de rode en groene subpixels tegelijk te laten oplichten. Groen en rood licht geven gemengd dezelfde indruk als zuiver geel licht.

Dat rood en groen licht samen geel opleveren, heeft te maken met de manier waarop je ogen werken. In het netvlies komen drie soorten kegeltjes (lichtgevoelige cellen) voor, elk met hun eigen kleurgevoeligheid. Soort A reageert op rood, oranje en geel licht, soort B op geel, groen en blauwgroen licht en soort C op blauwgroen, blauw en violet licht. Een mengsel van rood en groen licht laat de kegeltjes A en B reageren – net zoals geel licht dat doet – en wordt daarom als geel waargenomen.

bij pubers. Ze onderzochten de relatie tussen het slaapritme en de schoolresultaten van 700 medeleerlingen van hun school. Vooral de oudere pubers met een 'late' biologische klok (figuur 2) scoorden voor toetsen gemiddeld een half punt slechter dan leerlingen met een 'vroege' biologische klok. De 'late' leerlingen maakten de toetsen die later op de dag waren een stuk beter. De middelbare school heeft na dit onderzoek het begin van de lessen verschoven van acht uur naar half negen of negen uur. Volgens een docent maakt dat de leerlingen blijer en alerter. Dus halen ze hogere cijfers.



figuur 2 Leerling met een 'late' biologische klok tijdens een toets in de vroege ochtend.

Blauw licht is actie

Licht heeft dus invloed op je biologische klok. Het grootste effect is afkomstig van blauw licht. Als de hemel blauw is, is het meestal zonnig weer en dat is te merken aan het humeur van veel mensen. Op een zonnige dag ben je vaak ook minder slaperig dan tijdens een grijze dag. Het spectrum van het licht dat wordt uitgezonden door het ledscherm van bijvoorbeeld je telefoon of je gameconsole bevat veel blauw. Door dit blauwe licht krijgen je hersens een seintje dat je wakker moet blijven, ook al is het avond. Iedereen is gevoelig voor blauw licht in de avond, maar het effect blijkt veel groter te zijn voor jongeren van vijftien tot zeventien jaar.

"Als kinderen ongeveer veertien zijn, verschuiven hun slaap-waakritme en hun biologische klok. Ze willen veel langer in bed blijven liggen."

De concentratie van melatonine neemt minder toe, of zelfs af, als je in de twee uur voordat je gaat slapen bezig bent met je ledscherm. Bovendien, als je 's avonds nog lekker aan het appen of gamen bent, heeft die activiteit invloed op het moment dat je slaap krijgt. Je vergeet gemakkelijk de tijd en je gaat later slapen. Maar 's ochtends gaat wel weer de wekker. Je slaapt uiteindelijk minder lang.

Licht om mee wakker te worden

De tip die de anonieme scholier gaf op het forum is zo gek nog niet: wakker worden door een felle lamp met tijdschakelaar die op jou in bed is gericht. Je kunt met behulp van licht in de ochtend je biologische klok naar een eerdere fase schuiven. Dan ben je beter wakker voor die toets vroeg in de ochtend. Onderzoekers hebben ontdekt dat je 's ochtends sneller wakker wordt als je 30 tot 60 minuten in redelijk fel wit of blauw licht zit. Ook een wekkerlamp (figuur 3) is op dit principe gebaseerd. De lichtsterkte van deze lamp neemt langzaam toe vanaf een halfuur voordat je wekker gaat, net alsof de zon opkomt. Hoewel je ogen op dat moment nog gesloten zijn, word je gemakkelijker wakker en je voelt je de hele dag prettiger.



figuur 3 Wekkerlamp.

OPDRACHTEN

1 In figuur 3 zie je een wekkerlamp die je wakker maakt. Er bestaan ook wekkerlampen die een functie hebben waardoor je gemakkelijker in slaap valt.

a Welke eigenschappen zal de functie van de lamp voor het inslapen hebben?

b Zou je het licht van een telefoon kunnen gebruiken om in slaap te vallen?

c Zou je het licht van een telefoon kunnen gebruiken om sneller wakker te worden?

2 Bijna alle organismen hebben een dag-nachtritme.

a Noteer drie dieren die geen dag-nachtritme hebben.

b Noteer drie dieren die een omgekeerd dag-nachtritme hebben.

c Dieren die een omgekeerd dag-nachtritme hebben maken ook meer melatonine aan in de avond.
Welke algemene conclusie kun je hieruit trekken voor dieren?

- ○ A Melatonine houdt dieren wakker.
- ○ B Melatonine stuurt de biologische klok aan van dieren.
- ○ C Melatonine wekt slaap op bij dieren.

3 De twee leerlingen van de middelbare school in Hardenberg die het profielwerkstuk schreven over slaap en schoolprestaties zijn Amy Pieper en Anne Siersema. Download dit profielwerkstuk: https://www.knawonderwijsprijs.nl/winnaars/winnaars-2014/de-invloed-van-chronotype-en-tijdstip-van-de-dag-op-schoolprestaties.

a Amy en Anne schrijven over verschillende ‘chronotypes’.
Welk chronotype ben jij?

b Amy en Anne geven aanbevelingen voor school (pagina 15).
Noteer een voordeel en een nadeel als de school later begint.

c Amy en Anne geven ook aanbevelingen voor leerlingen (pagina 16).
Noteer twee mogelijkheden waardoor jij beter kunt presteren op school.

Leerstofoverzicht

6.1 LICHT EN KLEUR

ONTHOUD

- Een voorwerp dat zelf licht geeft, noem je een lichtbron. De zon en de sterren zijn natuurlijke lichtbronnen. Kunstmatige lichtbronnen zijn door de mens gemaakt, bijvoorbeeld kaarsen, ledlampen en tl-buizen.
- Het witte zonlicht bestaat uit alle kleuren van de regenboog: rood, oranje, geel, groen, blauw en violet. Dat zie je als je zonlicht op een prisma laat vallen. Zo'n reeks kleuren wordt een spectrum genoemd.
- Met een spectroscoop kun je de samenstelling van licht onderzoeken.
- De meeste voorwerpen om je heen geven zelf geen licht. Je kunt ze alleen zien wanneer ze verlicht worden. Het licht dat op het voorwerp valt, wordt dan diffuus teruggekaatst. Je ziet het voorwerp als een deel van dit teruggekaatste licht in je ogen valt.
- Een gele trui weerkaatst vooral geel licht, een rode trui vooral rood licht, een blauwe trui vooral blauw licht enzovoort. Het licht dat niet wordt teruggekaatst, wordt geabsorbeerd. Het licht wordt daarbij omgezet in warmte.
- Witte voorwerpen kaatsen bijna al het licht terug. Zwarte voorwerpen kaatsen maar weinig licht terug. Bijna al het zonlicht wordt geabsorbeerd.
- Als je een paarse trui bekijkt onder een gele lamp, lijkt hij zwart. Dat komt doordat de paarse trui voornamelijk paars licht terugkaatst. Het gele licht van de natriumlamp wordt bijna helemaal geabsorbeerd. De trui kaatst dus zo goed als geen licht terug, waardoor hij zwart lijkt.
- Een lcd-scherm is opgebouwd uit subpixels, meestal in de kleuren rood, groen en blauw. Door de subpixels in en uit te schakelen, worden de kleuren gemengd en kunnen andere kleuren worden gemaakt.
- Het mengen van kleuren licht heet additieve kleurmenging. De primaire additieve kleuren zijn rood, groen en blauw. De secundaire additieve kleuren zijn cyaan, magenta en geel.
- Het mengen van kleuren verf heet subtractieve kleurmenging. De primaire subtractieve kleuren zijn cyaan, magenta en geel.

BEGRIPPEN

absorberen
Opnemen; licht dat niet wordt teruggekaatst, wordt opgenomen.

additieve kleurmenging
Toevoegen van kleuren met als primaire kleuren rood, groen en blauw.

diffuse terugkaatsing
Licht wordt in alle richtingen teruggekaatst door een object.

kunstmatige lichtbron
Door de mens gemaakte lichtbron.

natuurlijke lichtbron
Natuurlijk object dat licht uitzendt, zoals de zon.

prisma
Doorzichtig, driehoekig stuk glas of kunststof.

spectraalkleuren
Zuivere kleuren in het spectrum.

spectroscoop
Instrument om licht te bestuderen. Je kunt ermee zien uit welke kleuren licht bestaat.

spectrum
Reeks opeenvolgende kleuren die bijvoorbeeld zichtbaar is als licht door een prisma valt.

subpixels
Lichtgevende streepjes, puntjes of vierkantjes waaruit een lcd-scherm is opgebouwd.

subtractieve kleurmenging
Het absorberen van kleuren licht, met als primaire kleuren cyaan, magenta en geel.

6.2 REFLECTIE EN VERSTROOIING

ONTHOUD

- Lichtstralen kun je tekenen als rechte lijnen (met een pijltje erin), want licht beweegt langs rechte lijnen.
- Bij een divergente lichtbundel lopen de lichtstralen uit elkaar, bij een convergente lichtbundel lopen ze naar elkaar toe en bij een evenwijdige lichtbundel blijven de lichtstralen parallel aan elkaar lopen.
- Op een grotere afstand bewegen de lichtstralen van een lichtbron verder uit elkaar, waardoor het licht zwakker wordt.
- Als een voorwerp het licht van de lichtbron tegenhoudt, ontstaat er een schaduw. Dat is een gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen.
- De schaduw van een voorwerp kun je als volgt tekenen:
  - Teken de lichtstralen die net niet door het voorwerp tegengehouden worden. Deze heten de randstralen.
  - Kleur het gebied achter het voorwerp dat tussen de twee randstralen ligt. Dit is het gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen: het schaduwgebied.
- Als een voorwerp door twee lichtbronnen wordt verlicht, ontstaan er twee schaduwbeelden. Op de plaats waar die beelden over elkaar heen vallen, is de schaduw het donkerst. Dit noem je de kernschaduw. Links en rechts van de kernschaduw zie je een lichtere halfschaduw.
- Door licht via een muur te laten weerkaatsen, wordt de muur een indirecte lichtbron.
- Diffuus licht maakt het licht zachter en geeft het minder harde schaduwen. Diffuus licht ontstaat door verstrooiing.

BEGRIPPEN

convergente lichtbundel
Lichtstralen lopen naar elkaar toe.

diffuus licht
Licht dat van alle kanten komt, dus niet rechtsreeks van de lichtbron.

direct licht
Licht dat rechtstreeks van de lichtbron naar het voorwerp gaat.

divergente lichtbundel
Lichtstralen lopen uit elkaar.

evenwijdige lichtbundel
Lichtstralen blijven parallel aan elkaar.

halfschaduw
Gebied in de schaduw waar slechts een (klein) deel van het licht kan komen.

indirect licht
Licht gaat niet rechtstreeks, maar via een weerkaatsing naar het voorwerp.

indirecte lichtbron
Oppervlak dat licht van een lichtbron weerkaatst.

kernschaduw
Gebied in de schaduw waar helemaal geen licht komt.

lichtstraal
Rechte lijn waarlangs licht beweegt.

randstraal
Lichtstraal die net niet door een voorwerp tegengehouden wordt.

schaduw
Gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen.

6.3 SPIEGELBEELDEN

ONTHOUD

- In een spiegel zie je een levensecht beeld van je eigen wereld: het spiegelbeeld.
- Op de plaats waar een lichtstraal een spiegel raakt, teken je een lijn die loodrecht op de spiegel staat: de normaal. De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal heet de hoek van inval. De hoek tussen de teruggekaatste lichtstraal en de normaal heet de hoek van terugkaatsing.
- Bij terugkaatsing door een vlakke spiegel geldt altijd: hoek van inval = hoek van terugkaatsing. Deze regel wordt de spiegelwet genoemd.
- Met de spiegelwet kun je tekenen hoe een lichtstraal door de spiegel teruggekaatst wordt.
  - Teken de normaal. De normaal staat altijd loodrecht op de spiegel.
  - Bepaal de hoek van inval.
  - Zet de hoek van terugkaatsing uit.
  - Teken de teruggekaatste lichtstraal.
- Je kunt het spiegelbeeld als volgt vinden:
  - Kies een willekeurig punt L van het voorwerp.
  - Leg je geodriehoek loodrecht op de spiegel met de basis door het punt L en de 0 op de spiegel.
  - Teken het beeldpunt B zo dat B even ver achter de spiegel ligt als L ervoor.
- Het tekenen van de teruggekaatste lichtstraal kan ook zonder de spiegelwet met de volgende stappen:
  - Teken eerst het beeldpunt van L; dit is punt B.
  - Trek vanuit B de lijn door het punt waar de lichtstraal van L de spiegel raakt.
  - Teken de lijn – eerst onderbroken achter de spiegel – daarna doorgetrokken voor de spiegel.
  - Het doorgetrokken gedeelte voor de spiegel is de teruggekaatste lichtstraal.
- Een tripelspiegel bestaat uit drie spiegels die loodrecht op elkaar zijn geplaatst. Een tripelspiegel weerkaatst het licht drie keer, waardoor het licht weer teruggaat naar waar het vandaan kwam. Tripelspiegels worden toegepast in reflectoren.

BEGRIPPEN

hoek van inval
Hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal.

hoek van terugkaatsing
Hoek tussen de teruggekaatste lichtstraal en de normaal.

normaal
Hulplijn die loodrecht op de spiegel staat.

reflector
Bestaat uit een groot aantal tripelspiegeltjes.

spiegel
Glasplaat waartegen een dun laagje aluminium of zilver is aangebracht.

spiegelbeeld
Schijnbeeld dat je ziet in een spiegel.

spiegelende terugkaatsing
Licht wordt gericht teruggekaatst en niet alle kanten op, zoals bij diffuse terugkaatsing.

spiegelwet
Regel die zegt dat de hoek van inval gelijk is aan de hoek van terugkaatsing.

tripelspiegel
Drie spiegels die loodrecht op elkaar zijn geplaatst en het licht weerkaatsen in de richting van waar het vandaan kwam.

6.4 INFRARODE EN ULTRAVIOLETTE STRALING

ONTHOUD

- Alle voorwerpen om je heen, maar ook mensen en dieren, zenden infrarode straling (ir-straling) uit. Warmtelampen zenden, behalve een beetje rood licht, vooral veel ir-straling uit.
- Ir-straling wordt op verschillende manieren toegepast:
  - in de afstandsbediening van een tv;
  - in alarminstallaties en in winkeldeuren die automatisch openen en sluiten;
  - in nachtkijkers die onzichtbare infrarode straling omzetten in een zichtbaar beeld.
- De zon straalt behalve licht ook ultraviolette straling (uv-straling) uit.
- Er zijn drie soorten uv-straling:
  - Uv-A-straling (tussen 315 nm en 400 nm): wordt niet tegengehouden door bewolking of glas en kan de huid aantasten;
  - Uv-B-straling (tussen 280 nm en 315 nm): zorgt voor een bruine tint van de huid en de aanmaak van vitamine D. Veroorzaakt zonnebrand en vergroot de kans op kanker.
  - Uv-C-straling (tussen 100 nm en 280 nm): wordt tegengehouden door de ozonlaag. Bijzonder gevaarlijk voor de huid en de ogen. Uv-C-straling zet zuurstof om in ozon.
- Er zijn lampen die vooral uv-straling uitzenden. Denk aan de uv-lampen in zonnebanken en de blacklightlampen in discotheken.
- Uv-straling kun je aantonen met een fluorescerende stof. Zo'n stof gaat zelf licht geven als er ultraviolette straling op valt.

BEGRIPPEN

fluoresceren
Licht geven als er ultraviolette straling op valt.

infrarode straling
Onzichtbare straling die je kunt voelen als warmte.

ultraviolette straling
Onzichtbare, schadelijke straling die in zonlicht voorkomt.

uv-lamp
Lamp die vooral ultraviolette straling uitzendt.

warmtelamp
Lamp die vooral infrarode straling uitzendt.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.

7 Het heelal

DE AARDE EN HET UNIVERSUM

De aarde is een bescheiden planeet in een rustige hoek van het heelal. Op andere plaatsen is het veel levendiger, zoals in dit gebied in het sterrenbeeld Orion. Astronomen doen veel onderzoek naar dit soort gebieden, om zo een beter beeld te krijgen van de processen in het heelal.



1 Sterren, zon en maan

LEERDOELEN

7.1.1 Je kunt beschrijven hoe de sterren (vanaf de aarde) langs de hemel lijken te bewegen.
7.1.2 Je kunt uitleggen waardoor de schijnbare beweging van de sterren wordt veroorzaakt.
7.1.3 Je kunt beschrijven hoe de zon beweegt langs de sterrenbeelden van de dierenriem.
7.1.4 Je kunt toelichten wat wordt bedoeld met ‘aardas’, ‘hemelpool’ en ‘ecliptisch vlak’.
7.1.5 Je kunt uitleggen wat de oorzaak is van de seizoenen en de verschillen in daglengte.
7.1.6 Je kunt uitleggen hoe de schijngestalten van de maan eruitzien en hoe ze ontstaan.
7.1.7 Je kunt uitleggen waarom je een deel van de maan niet kunt zien vanaf de aarde.
EXTRA 7.1.8 Je kunt met tekeningen uitleggen hoe een zonsverduistering ontstaat.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN							
	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
Onthouden			1a	1bc, 3b	1d	1e, 2d	2e	
Begrijpen		2a	2b, 4bcd	4a	2c, 6cd	9abcde	10	14a
Toepassen	3a			11abcd	6ab, 7			12, 14bc
Analyseren	3c	3d, 5abcd			6e, 8ab			13, 14d

Mensen volgen al duizenden jaren de banen van zon, de maan en de sterren. De aarde was daarbij lang het vaste uitgangspunt: alle bewegingen werden beschreven zoals je die vanuit de aarde ziet. Pas in de laatste vijfhonderd jaren is dat beeld helemaal veranderd.

DE STERREN

Om de sterrenhemel goed te zien, moet je ergens naartoe gaan waar het ’s nachts echt donker is. In Nederland is dat lastig: er is te veel licht uit andere lichtbronnen. Op eenzame plaatsen, ver van grote bevolkingscentra, gaat het beter. Daar kun je op een heldere nacht zonder maan meer dan tweeduizend sterren aan de hemel zien staan.

Als je regelmatig naar die sterren kijkt, ga je al snel bepaalde patronen herkennen. Groepjes sterren vormen herkenbare figuren, die altijd dezelfde vorm en grootte hebben. Zo’n figuur noem je een **sterrenbeeld**. Een bekend voorbeeld is de jager Orion (figuur 1). Astronomen gebruiken een lijst met 88 sterrenbeelden, elk met een eigen naam, om zich tussen de sterren te oriënteren. De sterren van een sterrenbeeld lijken dicht bij elkaar te staan, maar dat is in werkelijkheid vaak niet het geval.

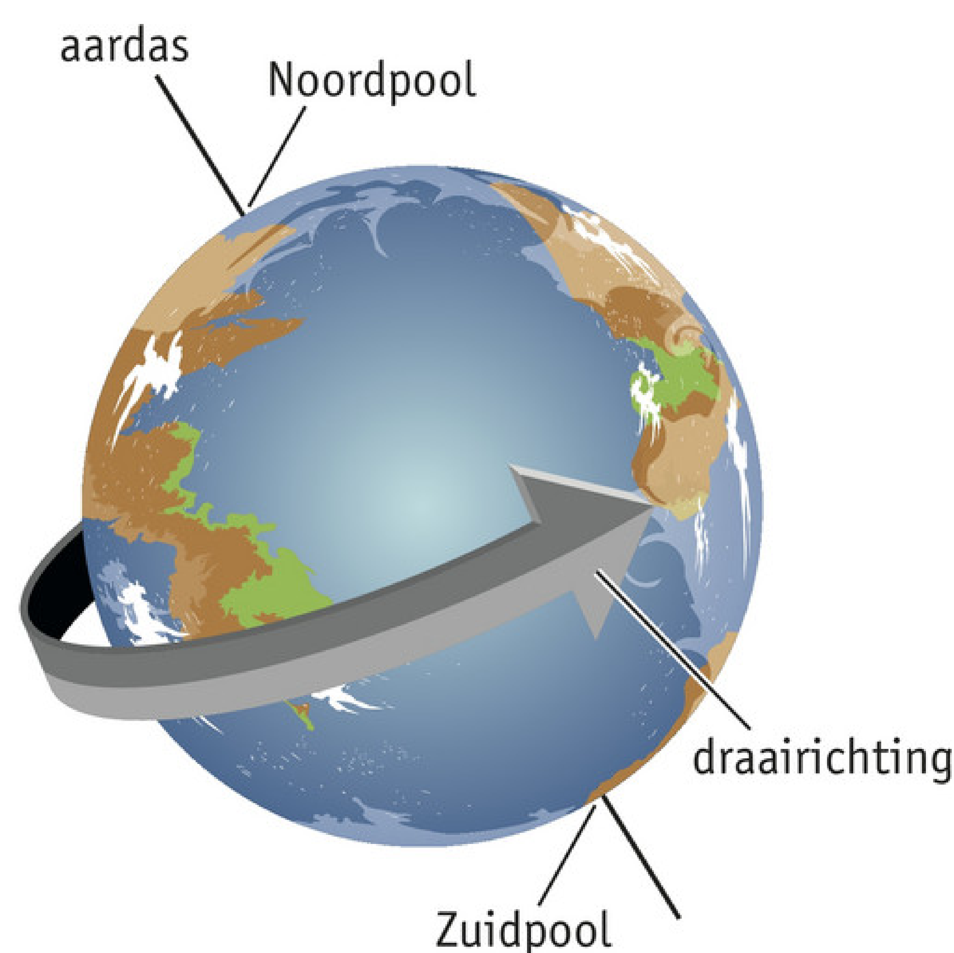


figuur 1 Het sterrenbeeld Orion kun je herkennen aan de drie sterren die zijn gordel vormen.

Als je sterren een tijdje volgt, zie je dat ze langs de hemel bewegen. In het oosten komen voortdurend sterren op. Ze bewegen schuin omhoog, in een grote boog naar het zuiden. Daar bereiken ze hun hoogste punt. Daarna dalen ze weer, tot je ze in het westen onder de horizon ziet verdwijnen.

Sterren die in het noordoosten opkomen, blijven lang boven de horizon. Ze bereiken hun hoogste punt (bijna) recht boven je hoofd. En in het noorden heb je sterren die helemaal niet ondergaan. Ze bewegen in grote cirkels rond een centraal punt, hoog aan de hemel. Dit punt noem je de **noordelijke hemelpool**. Hier staat een heldere ster, die de Poolster wordt genoemd.

Astronomen hebben lang gedacht dat de aarde stilstond en de sterren bewogen. Vanuit de aarde gezien lijkt dat ook zo. Na het jaar 1500 realiseerden ze zich dat het de sterren zijn die stilstaan. Dat ze lijken te bewegen, komt doordat de aarde draait rond de **aardas**: een denkbeeldige lijn door de aarde die naar de Poolster wijst. Deze beweging wordt de **aswenteling** van de aarde genoemd (figuur 2).



figuur 2 De aswenteling van de aarde.

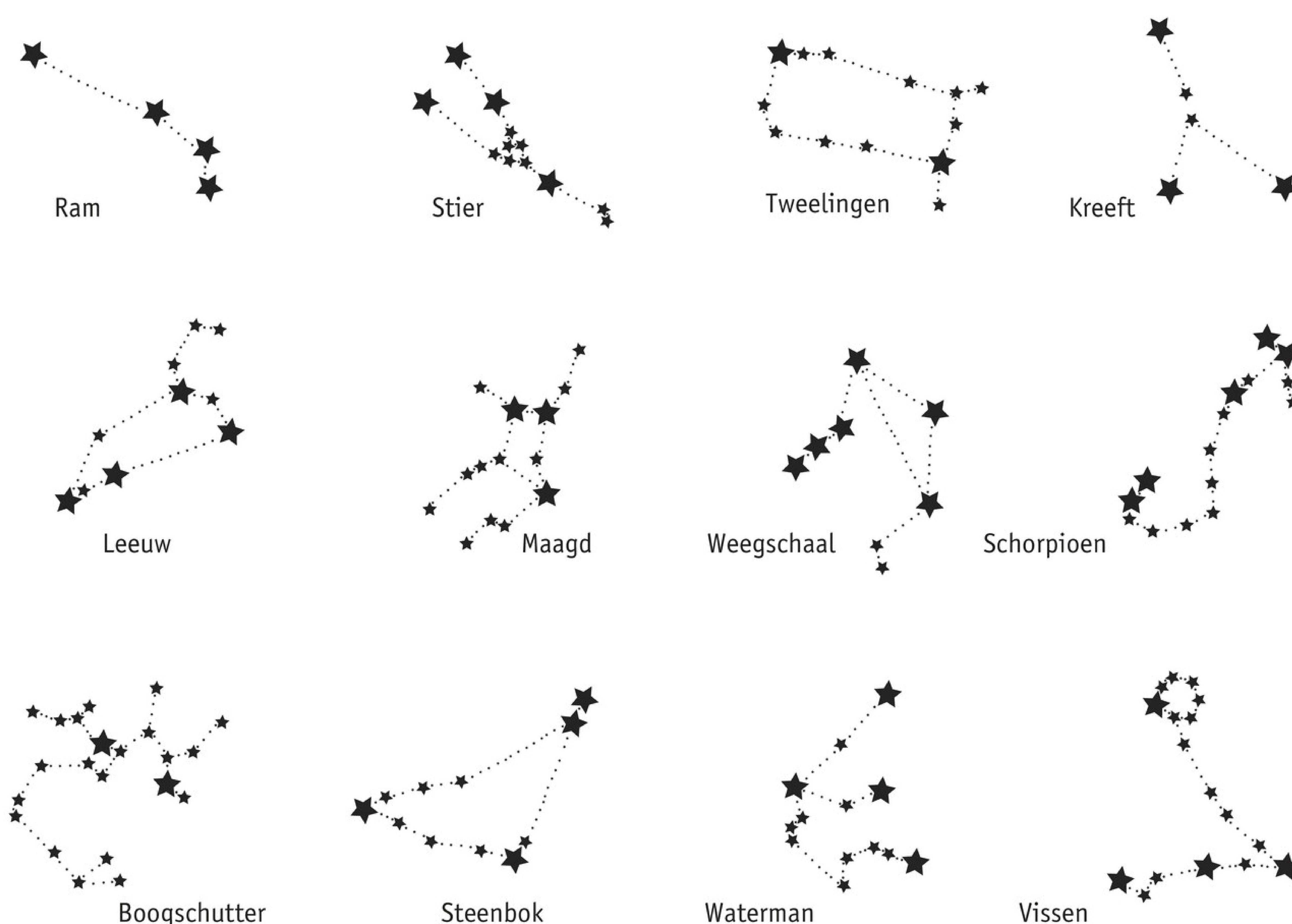
DE ZON

Net als de sterren beweegt de zon in een grote boog van het oosten via het zuiden naar het westen. Maar al in de oudheid werd ontdekt dat de zon elke dag een beetje achterblijft bij de sterren. De sterren staan na 23 uur en 56 minuten weer op dezelfde plaats aan de hemel. De zon doet daar 4 minuten langer over. Het gevolg is dat de zon telkens een stukje opschuift langs de sterrenhemel.

In het voorjaar staat de zon achtereenvolgens voor de sterrenbeelden Vissen, Ram en Stier.

- Half maart komt de zon tegelijk op met het sterrenbeeld Vissen. Je ziet dit sterrenbeeld dan niet, omdat het licht van de opkomende zon alle sterren onzichtbaar maakt. Maar astronomen kunnen aan de positie van andere sterrenbeelden zien dat Vissen en de zon op dezelfde plaats aan de hemel staan.
- Eind april is de situatie veranderd. De zon loopt nu duidelijk achter op het sterrenbeeld Vissen. Het sterrenbeeld is in het oosten al aan de hemel te zien, als de zon nog moet opkomen. De zon komt nu tegelijk op met het sterrenbeeld Ram.
- Eind mei heeft ook Ram de zon ingehaald. Het sterrenbeeld komt al boven de oostelijke horizon uit, voordat daar de zon opkomt. De zon komt nu tegelijk op met het sterrenbeeld Stier.

Het hele jaar gaat het zo door. Steeds staat de zon ongeveer een maand lang voor een ander sterrenbeeld. Veel van deze sterrenbeelden hebben dierennamen (figuur 3). De strook langs de hemel waar deze sterrenbeelden staan, wordt daarom de **dierenriem** genoemd. Na een jaar heeft de zon alle sterrenbeelden van de dierenriem afgewerkt en is hij weer terug op zijn uitgangspunt.



figuur 3 De sterrenbeelden van de dierenriem.

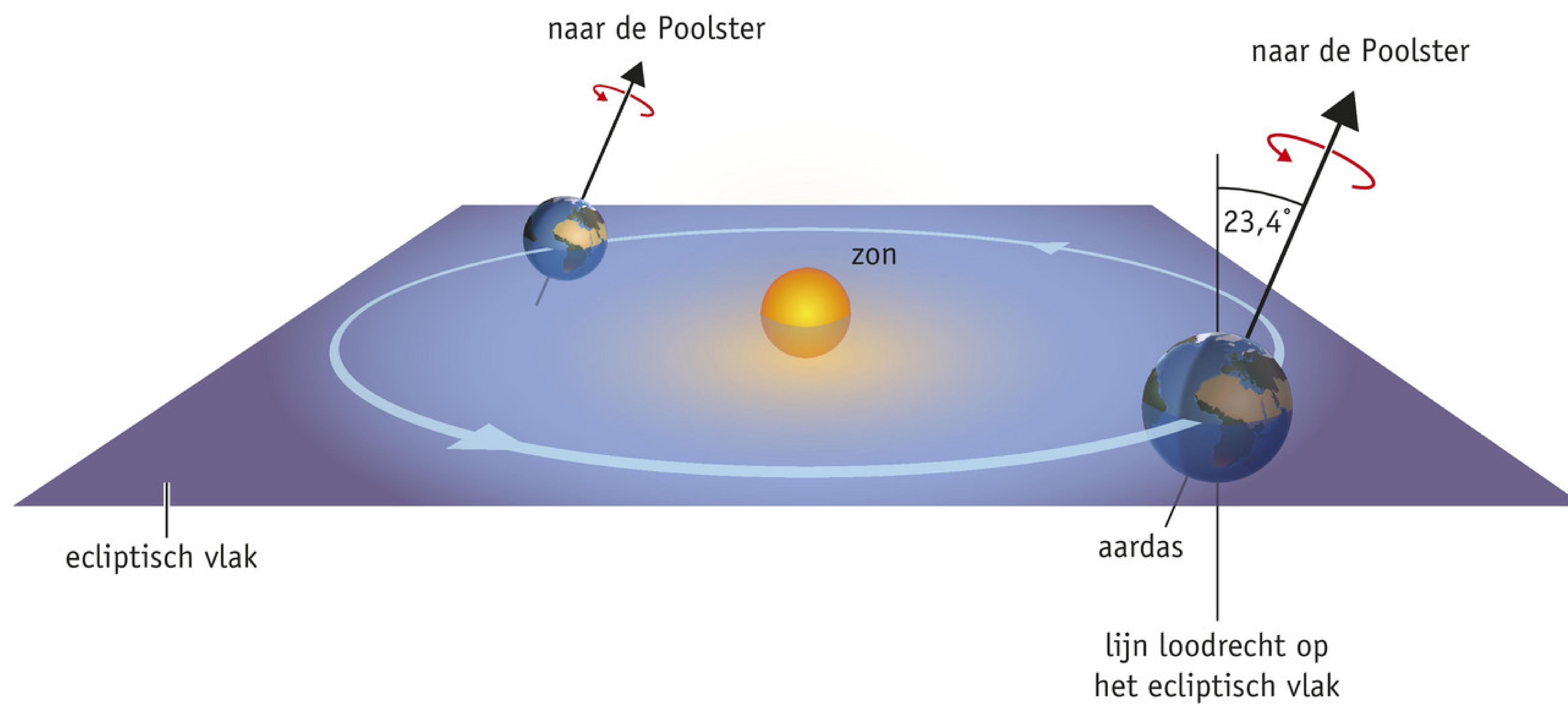
Voor 1500 dachten astronomen dat de zon rond de aarde draaide, net als de sterren. Daarna zijn ze ervan overtuigd geraakt dat het juist de aarde is die rond de zon beweegt. Vanaf de aarde bekeken staat de zon daardoor telkens voor een ander deel van de sterrenhemel. Na een jaar heeft de aarde een complete omloop voltooid. Dan staat de zon weer op dezelfde plaats aan de sterrenhemel.

DE STAND VAN DE AARDAS

PROEF 1

De aarde draait rond de zon in een ellipsbaan. Deze **ellips** is net geen cirkel, omdat hij een beetje is afgeplat. Het vlak waarin de aarde rond de zon draait noem je het **ecliptisch vlak**.

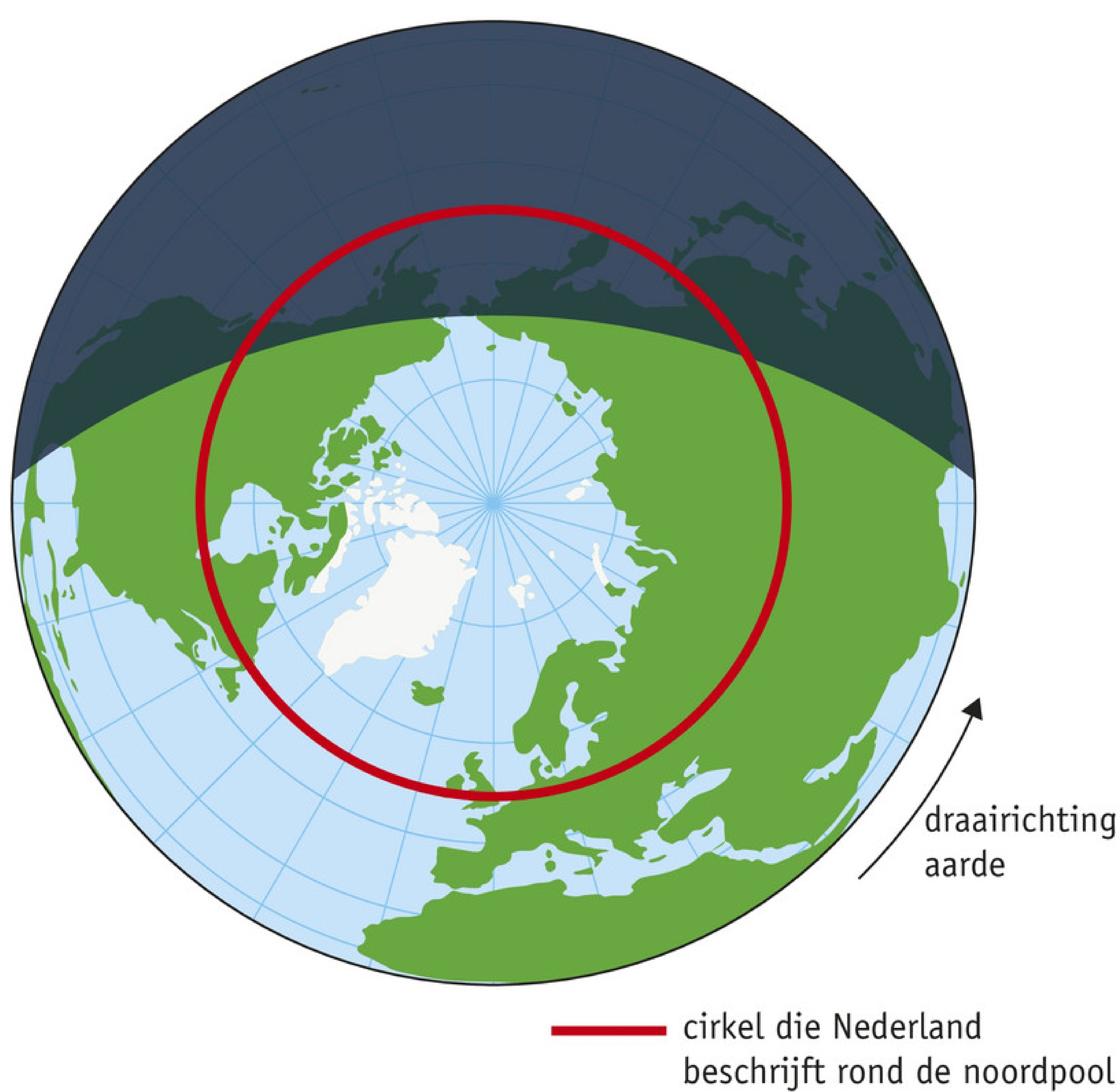
De aarde draait niet alleen rond de zon, maar ook rond de aardas. Zoals je in figuur 4 ziet, staat de aardas niet loodrecht op het ecliptisch vlak. De afwijking is ruim 23°. Die schuine stand betekent dat soms het noordelijk halfrond meer naar de zon is gekeerd en soms het zuidelijk halfrond. Als het noordelijk halfrond de meeste zon krijgt, is het daar zomer; op het zuidelijk halfrond is het dan winter. Een halfjaar later is de situatie precies omgekeerd.



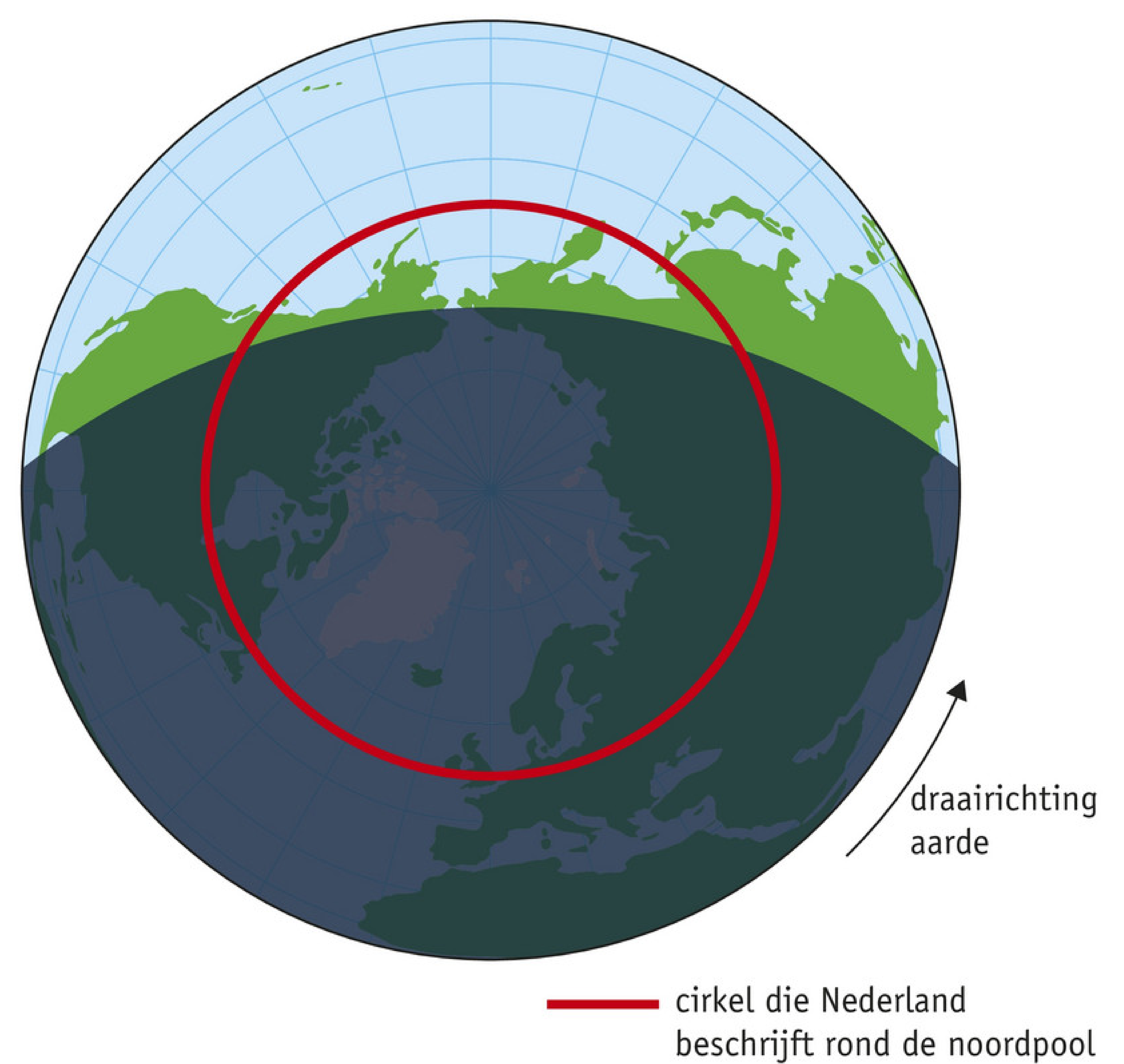
figuur 4 De zon, de aarde en het ecliptisch vlak (niet op schaal).

Op 21 juni is de noordpool het meest naar de zon toegekeerd. In figuur 5 is getekend hoe het zonlicht dan op de aarde valt. Het noordelijk halfrond bevindt zich voor het grootste deel in het licht. Op deze datum duurt de dag het langst en de nacht het kortst.

Een halfjaar later, op 21 december, bevindt de aarde zich aan de andere kant van de zon. De noordpool is nu het verst van de zon afgekeerd. Daardoor bevindt het noordelijk halfrond zich grotendeels in het donker (figuur 6). Op deze datum duurt de nacht het langst en de dag het kortst.



figuur 5 De aarde gezien van boven de noordpool, op 21 juni.



figuur 6 De aarde gezien van boven de noordpool, op 21 december.

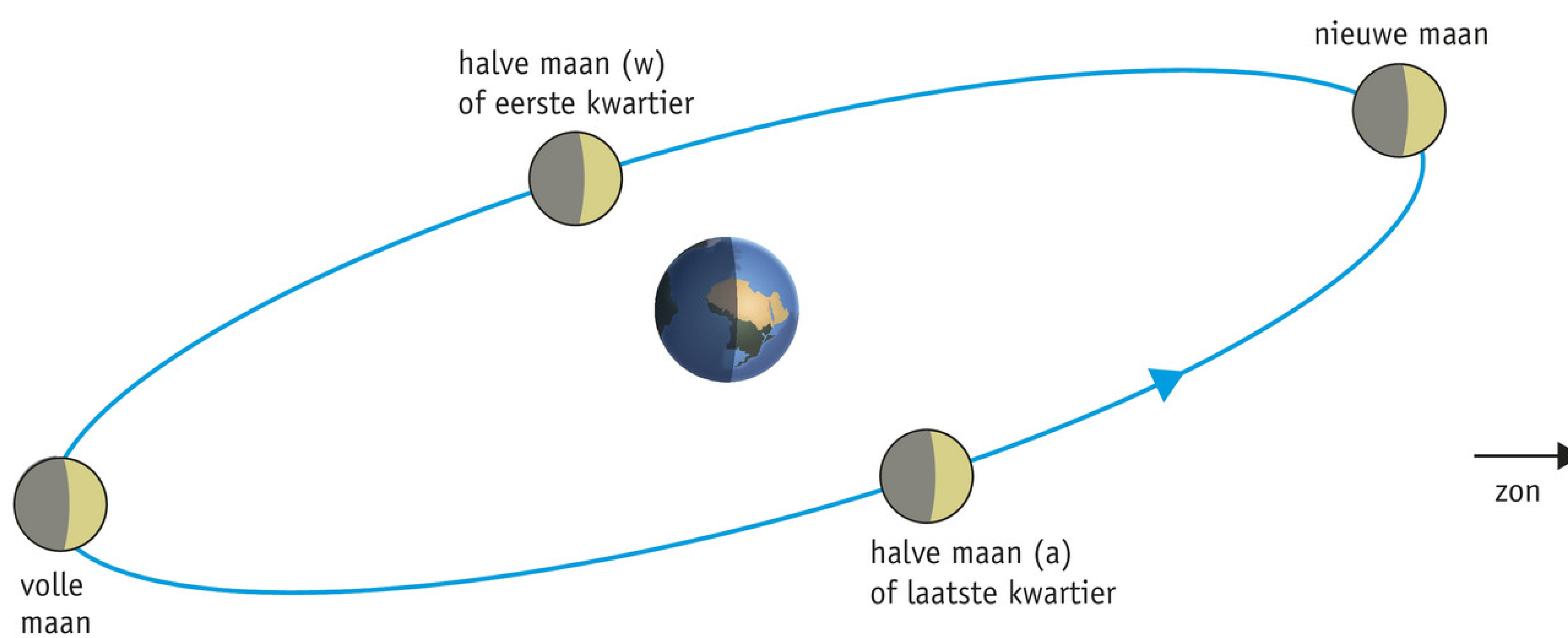
DE MAAN

De maan is na de zon het meest opvallende hemellichaam. In tegenstelling tot de zon en de sterren geeft de maan zelf geen licht. Je ziet de maan doordat deze door de zon wordt verlicht. Vanaf de aarde gezien lijken de maan en de zon even groot. Dat komt doordat de maan veel dichter bij de aarde staat dan de zon. In werkelijkheid is de zon honderden malen groter.

De maan draait in een baan rond de aarde, net zoals de aarde rond de zon draait (figuur 7). Een keer in circa 29 dagen staat de maan tussen de aarde en de zon in. De donkere kant is dan naar de aarde toegekeerd. Je ziet de maan dan niet. Dit noem je **nieuwe maan**. Ruim 14 dagen later staat de maan aan de andere kant van de aarde. Je kijkt dan tegen het verlichte deel aan. Dan is het **volle maan**.

Na elke nieuwe maan groeit de maan in ruim 14 dagen uit van een smal sikkeltje tot een ronde schijf. Halverwege zie je een halve maan. Dit is het eerste kwartier. Na volle maan krimpt de maan weer, tot het na circa 29 dagen opnieuw nieuwe maan is. Tussen volle maan en nieuwe maan zie je de maan weer voor de helft. Dit is het laatste kwartier.

Je noemt die verschillende gedaanten van de maan **schijngestalten** of **fasen**. De fasen bij afnemende maan zijn het spiegelbeeld van de fasen bij wassende (of groeiende) maan.



figuur 7 Zo draait de maan rond de aarde (niet op schaal).

De maan draait niet alleen om de aarde, maar net als de aarde ook om zijn eigen as. De maan doet precies even lang over een rondje om de aarde als over een rondje om zijn eigen as. Daarom zie je van de maan altijd dezelfde kant. Vanaf de aarde kun je de achterkant van de maan dus nooit zien. Die achterkant wordt daarom in het Engels *the dark side of the moon* genoemd.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

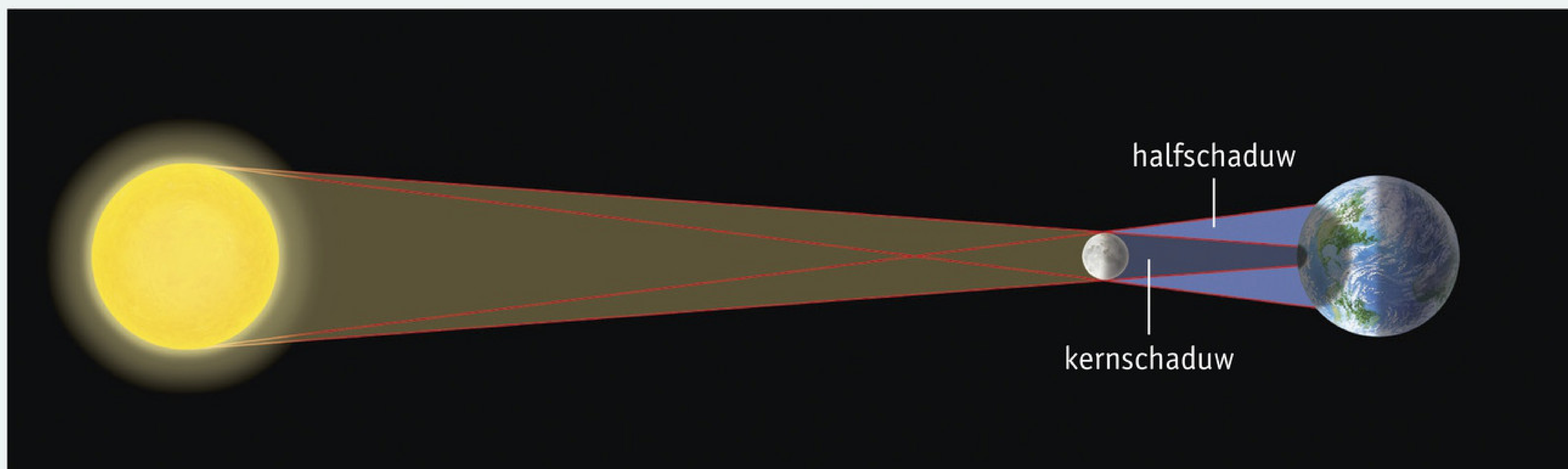
EXTRA ZONSVERDUISTERINGEN

Een zonsverduistering ontstaat doordat de maan, vanuit de aarde gezien, voor de zon langs beweegt. Het begint ermee dat de maan een hapje neemt uit de zonneschijf. Dat hapje groeit al gauw tot een flinke hap. Op een gegeven moment staat de maan recht voor de zon. De zonsverduistering is dan totaal (figuur 8). Het wordt dan donker om je heen en je kunt de sterren aan de hemel zien staan.



figuur 8 Een zonsverduistering; de zwarte schijf is de maan.

Bij een zonsverduistering beweegt de aarde door de kegelvormige schaduw van de maan. Een klein gebied op aarde bevindt zich dan in de kernschaduw van de maan. Daar is op dat moment een volledige zonsverduistering te zien (figuur 9). De mensen in het gebied daaromheen bevinden zich in de halfschaduw van de maan: zij zien de zon gedeeltelijk verduisterd.



figuur 9 De zon, de aarde en de maan bij een zonsverduistering (niet op schaal).

De maan verduistert de zon niet bij elke nieuwe maan. Dat kom doordat de baan van de maan niet in het ecliptisch vlak ligt, maar daar een hoek mee maakt (van 5,1°). Tijdens de ene helft van zijn omloop bevindt de maan zich boven het ecliptisch vlak, de andere helft eronder. Daardoor beweegt de maan bij nieuwe maan meestal (vanuit de aarde gezien) net iets boven of onder de zon langs. Alleen als de maan net bij nieuwe maan het ecliptisch vlak passeert, ontstaat er een zonsverduistering. De maan bevindt zich dan in een knoop: een punt waar het ecliptisch vlak en het vlak van de maan elkaar snijden.

De opdrachten in deze paragraaf gaan ervan uit dat je de sterrenhemel ergens vanuit Nederland bekijkt, tenzij in de opdracht duidelijk iets anders staat aangegeven.

1 Vul in.

a Een .... is een groepje sterren dat een herkenbare figuur vormt en een eigen .... heeft gekregen.

b De .... is een heldere ster die in het verlengde van de aardas in het .... hoog aan de hemel staat.

c De .... maakt een hoek van ruim 23° met een loodlijn op het .... vlak (= het vlak waarin de baan van de aarde ligt).

d Als de .... van de aarde naar de zon is toegekeerd, is het zomer op het noordelijk en winter op het zuidelijk ....

e Bij .... maan kijk je tegen het donkere deel van de maan aan; bij .... maan is het verlichte deel volledig te zien.

2 Geef van elke uitspraak aan of hij waar of onwaar is.

a In het noorden kun je sterren aan de hemel zien staan die nooit ondergaan. *waar / onwaar*

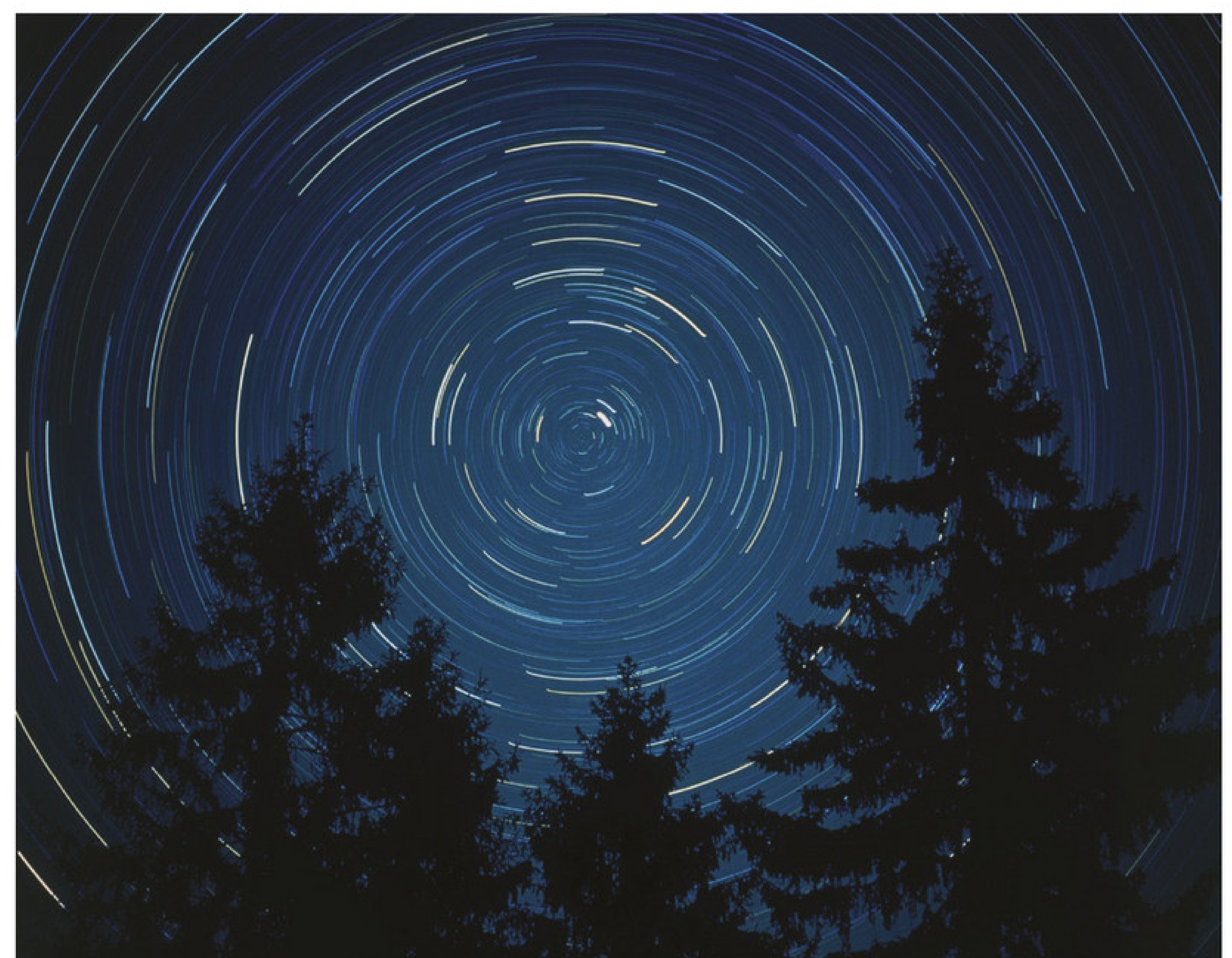
b De zon beweegt elke dag net iets verder langs de hemel dan de sterren. *waar / onwaar*

c 21 december is op het zuidelijk halfrond de langste dag van het jaar. *waar / onwaar*

d De maan is alleen zichtbaar doordat hij door de zon wordt verlicht. *waar / onwaar*

e De maan doet even lang over een rondje om de aarde als over een rondje om zijn eigen as. *waar / onwaar*

3 In figuur 10 zie je een tijdopname van de sterrenhemel. Zo'n opname wordt gemaakt met een camera op een statief. Tijdens het maken van de foto laat de fotograaf de sluiter lange tijd openstaan. Op de foto worden dan de banen vastgelegd die de sterren langs de hemel beschrijven.



figuur 10 Een tijdopname van de sterrenhemel.

a Waaraan zie je dat deze foto richting het noorden genomen is?

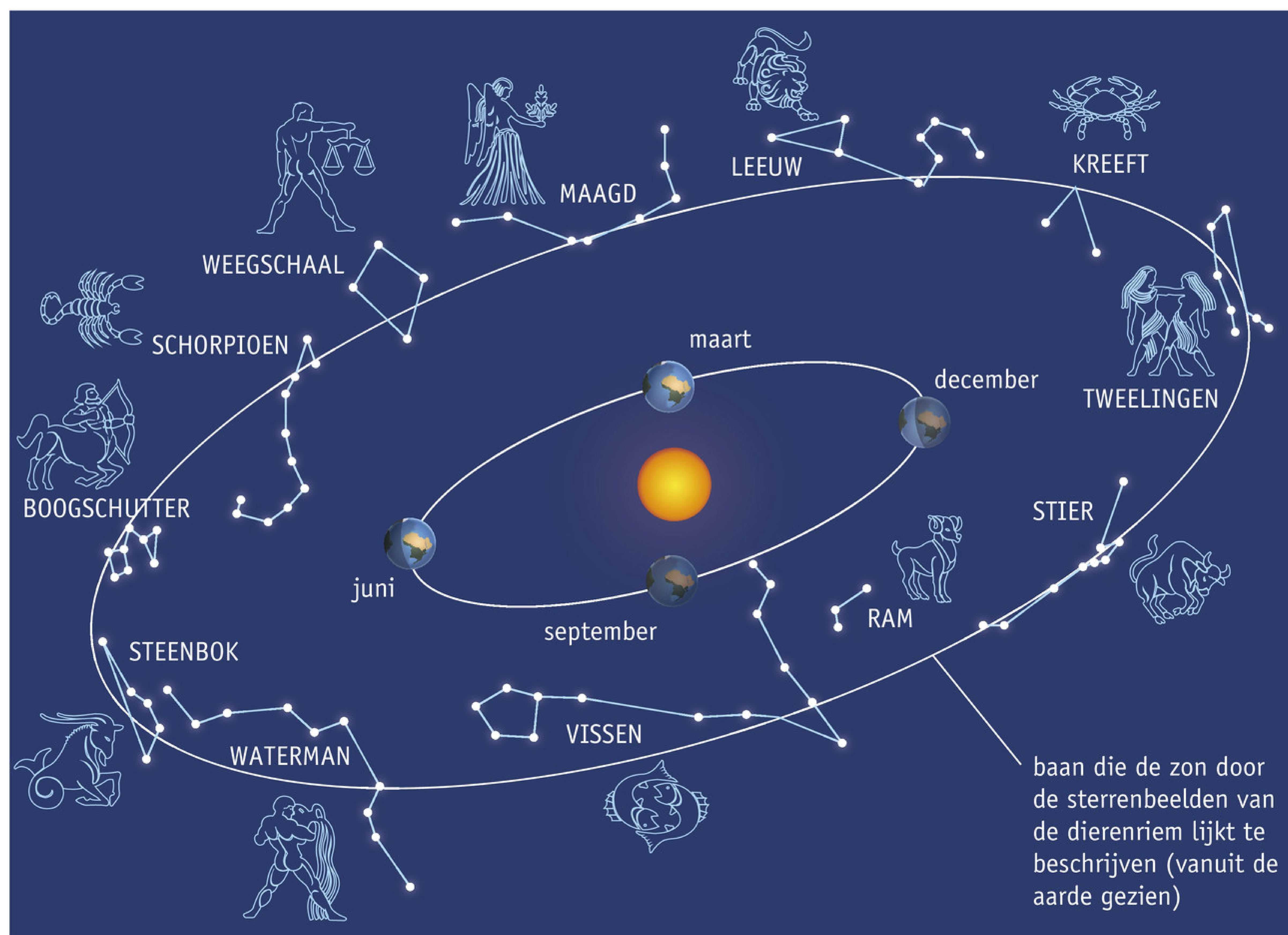
b Hoe wordt het centrale punt genoemd waar alle sterren op de foto omheen draaien?

c Op de foto zie je een deel van de cirkels die sterren pal in het noorden beschrijven.
Leg uit waarom het niet mogelijk is om een volledige cirkel vast te leggen.

d Hoelang heeft de sluiter van de camera opengestaan bij het maken van deze foto?

4 In figuur 11 zijn de zon, de aarde en de sterrenbeelden van de dierenriem getekend. De tekening maakt duidelijk in welke richting je de zon en de sterren kunt zien, maar is niet op schaal.

a Hoe beweegt de aarde om de zon in figuur 11: met de klok mee of tegen de klok in?
b In welke maand staat de zon (vanuit de aarde gezien) voor het sterrenbeeld Vissen?
c In welke maand staat de zon (vanuit de aarde gezien) voor het sterrenbeeld Maagd?
d Voor welk sterrenbeeld van de dierenriem staat de zon vanaf begin augustus?



figuur 11 De zon, de aarde en de dierenriem (niet op schaal).

★ 5 Midden maart zijn rond 02:00 uur vijf complete sterrenbeelden van de dierenriem aan de hemel te zien. Van oost naar west: Weegschaal, Maagd, Leeuw, Kreeft en Tweelingen. Zie figuur 11.

a Welk van deze vijf sterrenbeelden van de dierenriem is het laatst opgekomen?
b Welk nieuw sterrenbeeld van de dierenriem komt na 02:00 uur als eerste op in het oosten?
c Welk sterrenbeeld van de dierenriem kun je dan tegelijk zien ondergaan in het westen?
d Welk sterrenbeeld van de dierenriem komt even voor 07:00 uur tegelijk op met de zon?

6 Twee keer per jaar zijn de dag en de nacht precies even lang. Je noemt dat de equinoxen (van het Latijnse *aequus* = gelijk en *nox* = nacht).

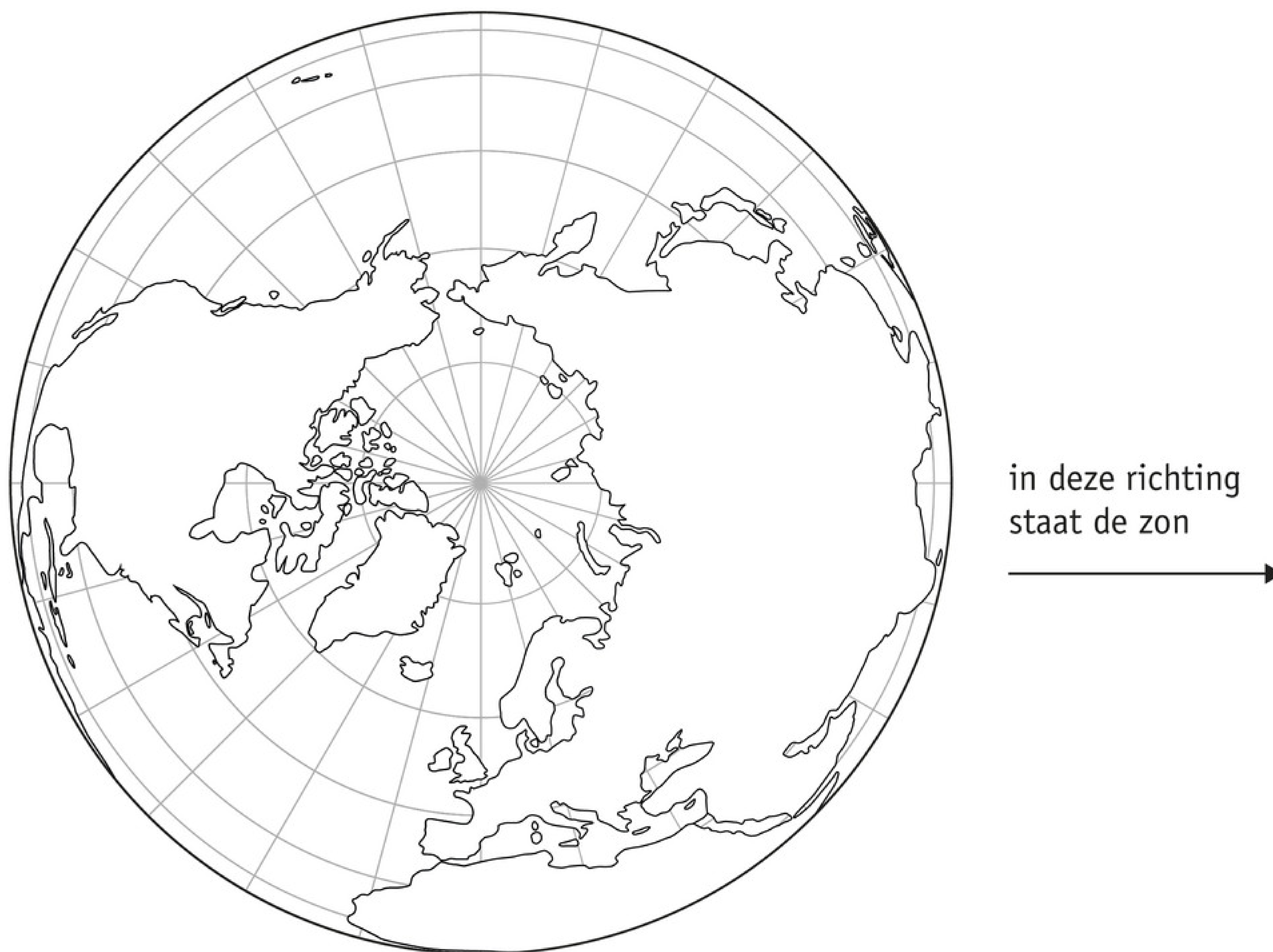
a Op welke twee data vallen de equinoxen?

b In figuur 12 is de aarde getekend tijdens een equinox. Ook is de richting aangegeven waarin de zon ligt.
Kleur het deel van de aarde in waar het op dit moment nacht is.

c Teken de cirkel die Nederland beschrijft rond de noordpool.

d Waaraan zie je dat de dag en nacht precies even lang zijn?

e Vallen de equinoxen op het zuidelijk halfrond op dezelfde data als op het noordelijk halfrond? Licht je antwoord toe.



figuur 12 De aarde gezien van boven de noordpool, tijdens een equinox.

7 Dicht bij de evenaar wordt het nooit echt koud. Daarom gaan de mensen die daar wonen eigenlijk niet uit van de seizoenen zomer, herfst, winter en lente.
Leg uit waarom het daar eigenlijk nooit echt koud wordt.

★ 8 De aardas staat scheef op het ecliptisch vlak, met een afwijking van ruim 23° ten opzichte van de loodlijn op het ecliptisch vlak.
Wat zou er in Nederland opvallend anders zijn geweest (noteer twee dingen):

a als de aardas precies loodrecht op het ecliptisch vlak had gestaan?

b als de aardas nog schever had gestaan dan nu, bijvoorbeeld 35° uit het lood?

9 In figuur 13 kun je zien hoe de maan eruitzag in een periode van twee weken in oktober 2020. Onder elke foto staat de tijd van de maanopkomst en de maanondergang.

a Wat kun je zeggen over het moment waarop de maan elke dag opkomt?

b Wanneer gaat de maan ’s ochtends op en ’s avonds onder, net als de zon?

- ○ A bij nieuwe maan
- ○ B bij het eerste kwartier
- ○ C bij volle maan
- ○ D bij het laatste kwartier

c Waar bevindt de maan zich dan ten opzichte van de aarde en de zon?

d Wanneer gaat de maan ’s avonds op en ’s ochtends onder, dus net andersom dan de zon?

- ○ A bij nieuwe maan
- ○ B bij het eerste kwartier
- ○ C bij volle maan
- ○ D bij het laatste kwartier

e Waar bevindt de maan zich dan ten opzichte van de aarde en de zon?

figuur 13 Maanopkomst en maanondergang van 16 tot en met 31 oktober 2020.



* op de volgende dag

10 *The dark side of the moon* betekent in het Nederlands letterlijk *de donkere kant van de maan*.
Leg uit of het aan deze kant van de maan inderdaad altijd donker is.

11 In Nederland zie je de Poolster onder een hoek van 52° aan de hemel staan. (Horizontaal, recht voor je uit, is 0° en verticaal, recht boven je hoofd, is 90°).
Hoe verandert de hoek waaronder je de Poolster ziet:

a als je van Nederland recht naar het noorden reist (bijvoorbeeld naar Noorwegen)?
Tip: maak een schets van de aardbol en de Poolster om je de situatie voor te stellen.

b als je van Nederland recht naar het oosten reist (bijvoorbeeld naar Polen)?

c als je van Nederland recht naar het zuiden reist (bijvoorbeeld naar Spanje)?

d als je van Nederland recht naar het westen reist (bijvoorbeeld naar Ierland)?



Test je kennis met de *Test jezelf*.

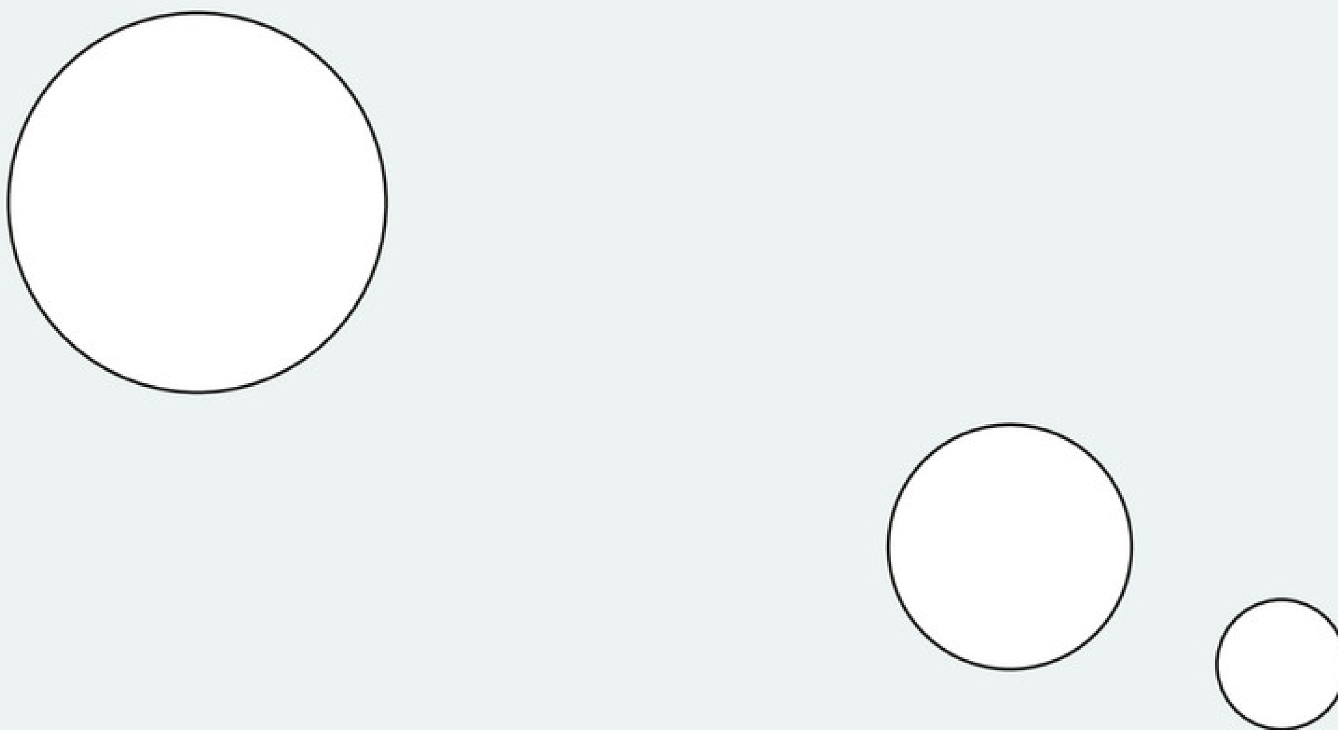
EXTRA ZONSVERDUISTERINGEN

12 Het komt vaak voor dat een zonsverduistering nergens op aarde volledig is. Je ziet dat de maan een flinke hap uit de zon neemt, maar daar blijft het bij. De zon wordt dan nergens op aarde volledig verduisterd.
Leg uit hoe zo'n gedeeltelijke zonsverduistering ontstaat. Gebruik de woorden 'kernschaduw' en 'halfschaduw'.

★ 13 Het gebied waarin een zonsverduistering te zien is, beweegt met grote snelheid over de aarde. De zonsverduistering van 14 oktober 2023 is bijvoorbeeld het eerst te zien aan de westkust van de Verenigde Staten en circa 4 uur later voor het laatst in het oosten van Brazilië.
Noteer twee oorzaken waardoor de kernschaduw van de maan over het aardoppervlak beweegt.

14 In figuur 14 is een *maans*verduistering getekend (niet op schaal).

a Vul op de juiste plaats de namen in: *aarde – maan – zon.*
b Teken de kernschaduw van de aarde.
c Is het mogelijk dat je op de ene plaats op aarde een volledige maansverduistering ziet en op een andere plaats een gedeeltelijke? Licht je antwoord toe.
d Stel je voor dat er tijdens een maansverduistering mensen op de maan zijn (op het halfrond dat naar de aarde gericht is).
Wat zouden zij waarnemen tijdens een maansverduistering?



figuur 14 Een maansverduistering (niet op schaal).

2 Het zonnestelsel

LEERDOELEN

7.2.1 Je kunt uitleggen hoe een astronoom planeten kan onderscheiden van echte sterren.

7.2.2 Je kunt uitleggen wat een planeet is en beschrijven hoe de acht planeten in het zonnestelsel rond de zon bewegen.

7.2.3 Je kunt de namen van de planeten noemen, in volgorde van hun afstand tot de zon.

7.2.4 Je kunt de belangrijkste verschillen benoemen tussen de aardse planeten en de reuzenplaneten.

7.2.5 Je kunt afstanden omrekenen van km naar AE en omgekeerd (ook met machten van 10).

EXTRA 7.2.6 Je kunt uitleggen wat kometen zijn en hoe ze eruitzien tijdens hun baan rond de zon.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN						
	7.2.1	7.2.2	7.2.3	7.2.4	7.2.5	7.2.6	2.4.3*
Onthouden	1b, 3b	1ae		1cd	2ab		
Begrijpen	3a	5bcde, 10a	5a, 8abc		2c	11abc, 12a	
Toepassen	4de	4a, 6cde, 10bc	8de, 10d		7abcd,	11d, 12bc	9a
Analyseren	3c	4b, 6ab	6ab	9bc		12d	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

Behalve de aarde bewegen er nog zeven andere planeten rond de zon. Vijf daarvan zijn vanaf de aarde goed te zien. Ze hebben hun namen al in de oudheid gekregen: Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus. Uranus en Neptunus zijn pas later ontdekt, in 1781 en in 1846.

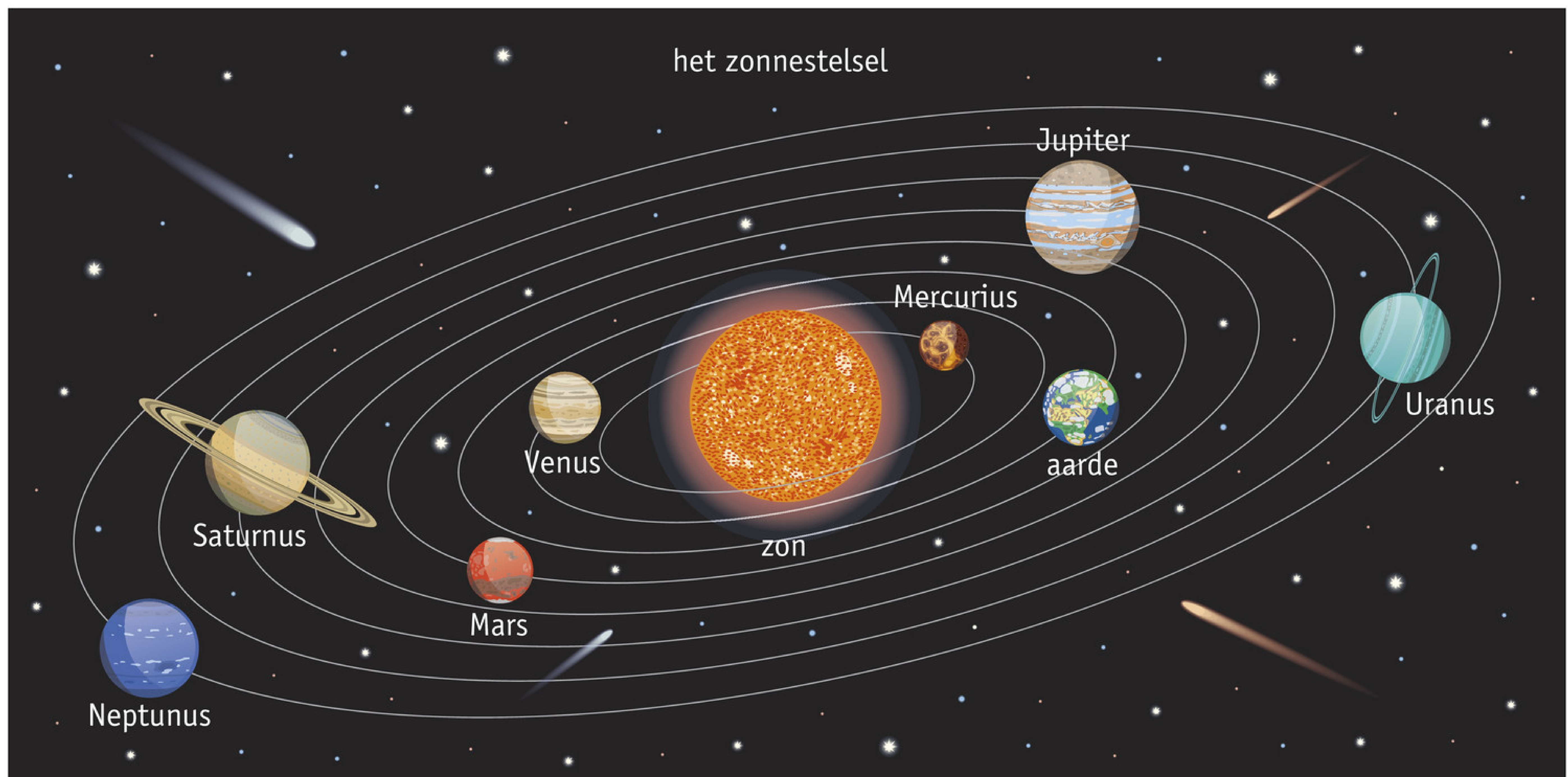
DE PLANETEN

Planeten lijken vanaf de aarde gezien veel op sterren. Met het blote oog zien ze eruit als kleine lichtpunten. Als je sterren en planeten door een telescoop bekijkt, is er wel een verschil. Een ster blijft dan een punt; de telescoop zorgt er alleen voor dat de ster helderder wordt. Maar een **planeet** wordt dan een schijf, met een eigen, kenmerkend uiterlijk. Het woord planeet komt van het Griekse πλανήτης (*planētēs*) dat zoiets betekent als *zwerver*.

Officieel is een planeet een hemellichaam dat om een ster draait en dat zijn eigen baan en de omgeving daarvan heeft 'schoongeveegd'. Daarmee wordt bedoeld dat er geen andere hemellichamen (rotsblokken, blokken ijs et cetera) rondcirkelen in dezelfde baan of dicht daarbij. Pluto heeft zijn baan niet 'schoongeveegd'. Daarom heeft de Internationale Astronomische Unie in augustus 2006 besloten dat Pluto geen planeet meer is, maar een dwergplaneet. In tegenstelling tot een ster geeft een planeet geen licht. Planeten weerkaatsen wel licht van de zon.

Voor astronomen is er nog een ander belangrijk verschil tussen sterren en planeten. Sterren hebben een vaste plaats aan de sterrenhemel. Ten opzichte van elkaar bewegen ze niet. Bij de planeten is dat anders. Die bewegen net als de zon door de twaalf sterrenbeelden van de dierenriem. Ze doen dat wel allemaal in een ander tempo: Mercurius is het snelst, Neptunus het langzaamst.

In figuur 1 zie je een model van het zonnestelsel. Het model is niet op schaal. In werkelijkheid zijn alle afstanden veel groter. Ook zijn de zon en de planeten niet op schaal getekend. Er is nog een derde verschil. In het model lijken alle planeetbanen allemaal in het ecliptisch vlak te liggen. In werkelijkheid wijken ze daar iets vanaf. Het vlak waarin Mercurius ronddraait, wijkt het meest af. Dit vlak maakt een hoek van 7° met het ecliptisch vlak.



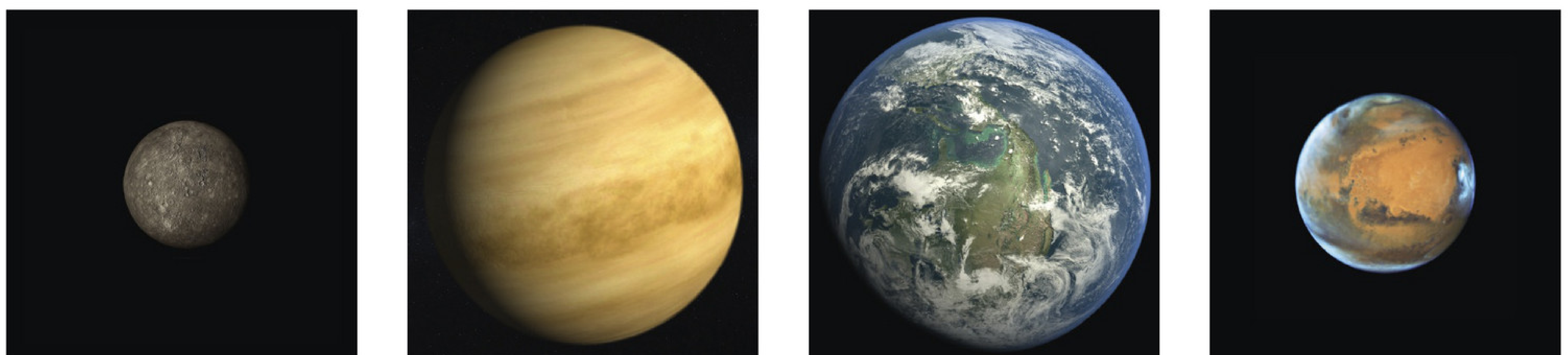
figuur 1 Een model van het zonnestelsel (niet op schaal).

Omdat planeten in een ellips rond de zon bewegen, staan ze de ene keer dichter bij de zon dan de andere keer. Maar de verschillen zijn bij de meeste planeten maar klein: hun banen wijken maar weinig af van een zuivere cirkel. Daarom geeft hun gemiddelde afstand tot de zon je een goede indruk van hun baan. Alleen bij Mercurius zijn de verschillen groter.

AARDSE PLANETEN

Mercurius, Venus, de aarde en Mars worden **aardse planeten** genoemd. Qua afmetingen en samenstelling lijken ze veel op elkaar (figuur 2). Ze hebben alle vier een hard, rotsachtig oppervlak. Binnenin bestaan ze uit gesteenten en metalen, in vaste of vloeibare vorm. De aarde is als enige aardse planeet grotendeels bedekt met water.

figuur 2 De planeten Mercurius, Venus, aarde en Mars, op dezelfde schaal weergegeven.



Net als de maan kun je planeten alleen zien doordat ze het licht van de zon weerkaatsen. Venus en Mars staan ‘dicht bij’ de aarde en zijn daardoor goed zichtbaar. Venus is dankzij haar witte wolkendek zelfs een van de helderste hemellichamen; alleen de zon en de maan geven nog meer licht. Je ziet Venus soms als ‘avondster’ vroeg in de avond en soms als ‘morgenster’ laat in de nacht.

Zowel op Venus als op Mars zijn planeetverkenners geland om metingen te doen en foto's te maken. Venus is zo heet dat een verkenner het daar maar kort uithoudt. Maar op Mars kunnen verkenners jarenlang doorgaan. Het robotkarretje *Opportunity* is zelfs 14 jaar actief geweest, van 2004 tot 2018. Dankzij dit soort verkenners is goed bekend hoe het oppervlak van Mars eruitziet (figuur 3).

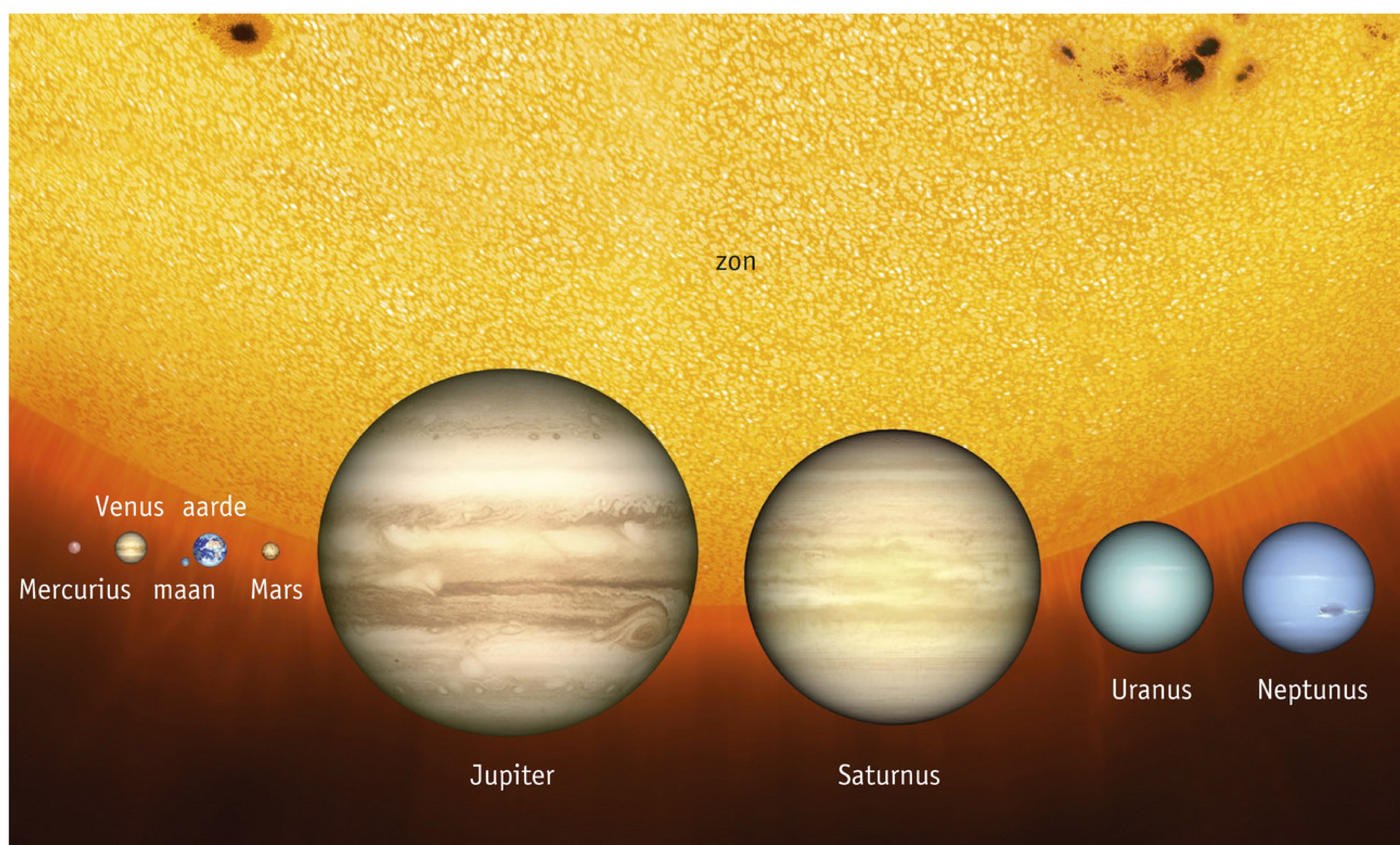


figuur 3 Een foto van de planeet Mars, gemaakt door de planeetverkenner *Curiosity*.

REUZENPLANETEN

De planeten Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus worden **reuzenplaneten** genoemd. Ze zijn veel groter dan de aardse planeten (figuur 4) en staan verder van de zon. Jupiter en Saturnus staan het dichtst bij en zijn helderder dan de meeste sterren. Uranus en Neptunus staan veel verder weg. Uranus kun je nog net zien met het blote oog, maar voor Neptunus heb je een telescoop nodig.

De reuzenplaneten bestaan voor een groot deel uit gassen. Van buitenaf zie je alleen de bovenste laag wolken die de planeet omringt. Maar onder die wolken is geen stevig, rotsachtig oppervlak waarop je een ruimtevaartuig kunt laten landen. Een planeetverkenner sturen heeft daarom geen zin; hij zou spoorloos verdwijnen in de diepere lagen van de planeet. De reuzeplaneten hebben alle vier een relatief kleine, rotsachtige kern.



figuur 4 De zon en de planeten, op dezelfde schaal weergegeven.

DE AFSTANDEN IN HET ZONNESTELSEL

PROEF 2

Het valt niet mee om het zonnestelsel in één figuur op schaal te tekenen. Dat komt doordat de afstanden in het zonnestelsel zo sterk van elkaar verschillen. Als je de baan van Neptunus zo tekent dat hij nog net op het papier past, is de baan van Mercurius een piepklein rondje, met een diameter van 3 à 4 mm. Daarom zijn afbeeldingen van het zonnestelsel bijna nooit op schaal.

Er zijn verschillende manieren bedacht om de afstanden in het zonnestelsel weer te geven. Astronomen gebruiken vaak machten van 10. Ze schrijven bijvoorbeeld dat Neptunus gemiddeld op $4{,}50 \cdot 10^9$ km van de zon staat. Dat is 4,50 miljard kilometer. De combinatie 10^9 staat voor 10 × 10 × 10 × 10 × 10 × 10 × 10 × 10 × 10 = 1 000 000 000 oftewel één miljard.

Er bestaat een speciale eenheid voor afstanden in het zonnestelsel: de **astronomische eenheid** (AE). Dit is een handige eenheid om afstanden in het zonnestelsel snel met elkaar te vergelijken.1 AE is per definitie gelijk aan 149 597 870 700 m, de gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon. Bij de berekeningen in dit hoofdstuk mag je de afgeronde waarde gebruiken: 1 AE = $150 \cdot 10^6$ km.

VOORBEELDOPDRACHT 1

De gemiddelde afstand tussen Saturnus en de zon is $1430 \cdot 10^6$ km (figuur 5). Hoeveel is dat in astronomische eenheden?

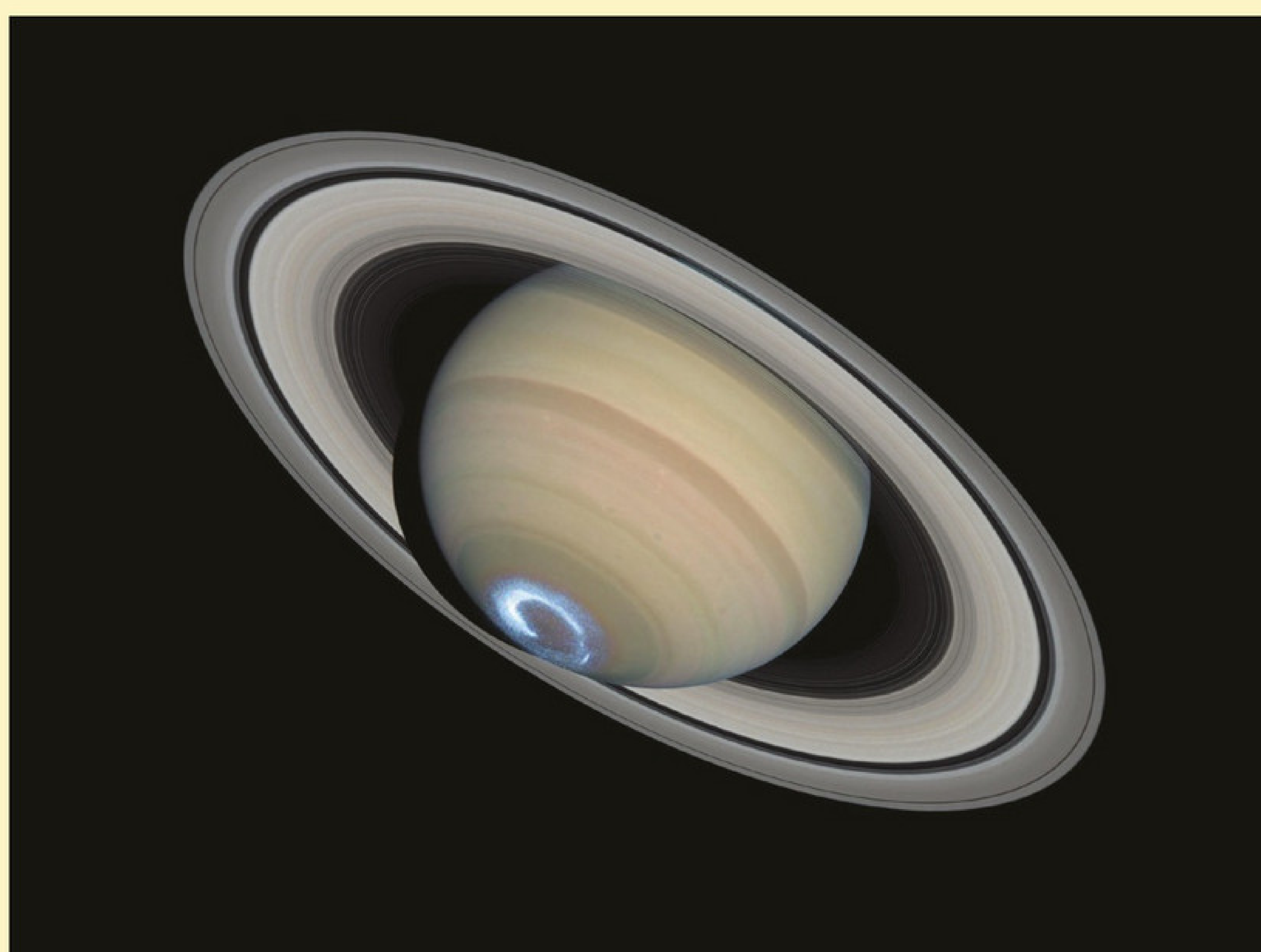
gegevens — de afstand tussen Saturnus en de zon is: $1430 \cdot 10^6$ km
de afgeronde waarde van 1 AE is: $150 \cdot 10^6$ km

gevraagd — de afstand tussen Saturnus en de zon in AE

uitwerking — Je wilt berekenen hoe vaak 1 AE in $1430 \cdot 10^6$ km gaat.

Dat doe je door te delen: $\frac{1430 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^6} = 9{,}5$ AE

Saturnus staat dus bijna tien keer zo ver van de zon als de aarde.



figuur 5 De planeet Saturnus, met ringen, gefotografeerd door de ruimtetelescoop *Hubble*.

In tabel 1 staan enkele baangegevens van de planeten. Je kunt er onder andere in vinden hoe snel de planeten bewegen in hun baan rond de zon. Het is duidelijk dat er een verband is met de afstand tot de zon: hoe dichter een planeet bij de zon staat, des te sneller beweegt hij. Mercurius beweegt ruim anderhalf keer zo snel als de aarde en bijna negen keer zo snel als Neptunus.

tabel 1 Baangegevens van de planeten.

planeet	gemiddelde afstand tot de zon (AE)	omlooptijd in aardse jaren (j)	gemiddelde baansnelheid (km/s)	hoek met het ecliptisch vlak (º)
Mercurius	0,39	0,241	47	7,0
Venus	0,73	0,615	35	3,4
Aarde	1,0	1,00	30	0
Mars	1,5	1,88	24	1,9
Jupiter	5,2	11,9	13	1,3
Saturnus	9,5	29,4	9,7	2,5
Uranus	19	83,8	6,8	0,8
Neptunus	30	164	5,4	1,8

Uit: NASA, Planetary Fact Sheet (metric)

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA PLANETOÏDEN EN KOMETEN

Rond de zon draaien niet alleen planeten, maar ook planetoïden en kometen. Deze hemellichamen zijn veel kleiner dan planeten. Planetoïden zijn grote brokken steen en ijs, met een onregelmatige vorm. Ze komen veel voor in een gebied tussen Mars en Jupiter, op 2 tot 3 AE van de zon. Dit wordt de hoofdgordel genoemd. Er zijn ook planetoïden waarvan de baan dicht bij die van de aarde ligt.

Kometen bestaan uit ijs, gemengd met stof en gruis. Ze zijn afkomstig uit de buitenste gebieden van het zonnestelsel, voorbij Neptunus. Sommige kometen hebben een sterk elliptische baan die ze dicht bij de zon brengt. Door de warmte van de zon vervluchtigt dan een deel van het ijs. Het gas vormt een uitgestrekte, ijle atmosfeer rond de komeet, en een miljoenen kilometerslange staart (figuur 6).



figuur 6 De komeet Hale-Bopp in maart 1997, op ongeveer 1 AE van de zon.



figuur 7 Deze inslagkrater in Arizona (VS) is 200 m diep en heeft een doorsnede van 1200 m.

Af en toe gebeurt het dat een planetoïde of een komeet tegen een ander hemellichaam botst. Zo'n inslag kan grote schade aanrichten. Op een rotsachtig oppervlak ontstaat in zo'n geval een inslagkrater: een groot, rond gat in de bodem met daaromheen een hoge kraterrand van weggeslingerd gesteente (figuur 7). De grootste inslagkraters hebben een doorsnede van honderden kilometers.

1 Vul in.

a Planeten bewegen in een .... rond de zon; meestal wijkt hun baan maar weinig af van een zuivere ....

b Planeten geven zelf geen licht; net als de .... kun je ze alleen zien doordat ze het licht van de zon ....

c Mercurius, ..., de aarde en Mars worden aardse planeten genoemd; ze staan veel .... de zon dan de reuzenplaneten.

d Van de vier reuzenplaneten ...., Saturnus, ... en Neptunus zie je van buitenaf alleen de bovenste laag .... rond de planeet.

e Hoe dichter een planeet bij de zon staat, des te .... beweegt hij; .... is dus de snelste planeet en .... de langzaamste.

2 Je kunt de afstand $4{,}50 \cdot 10^9$ km ook schrijven als 30 AE.

a Wat betekenen de letters AE?

b Welke planeet staat gemiddeld op 1 AE van de zon?

c Hoe kun je een afstand omrekenen van km naar AE?

3 Al lang voordat er telescopen waren, maakten mensen onderscheid tussen planeten en 'gewone' sterren.

a Hoe kun je zien dat een lichtpuntje aan de hemel geen 'gewone' ster is maar een planeet, als je verder geen hulpmiddelen hebt?

b Hoe verschillen planeten van sterren als je ze door een telescoop bekijkt?

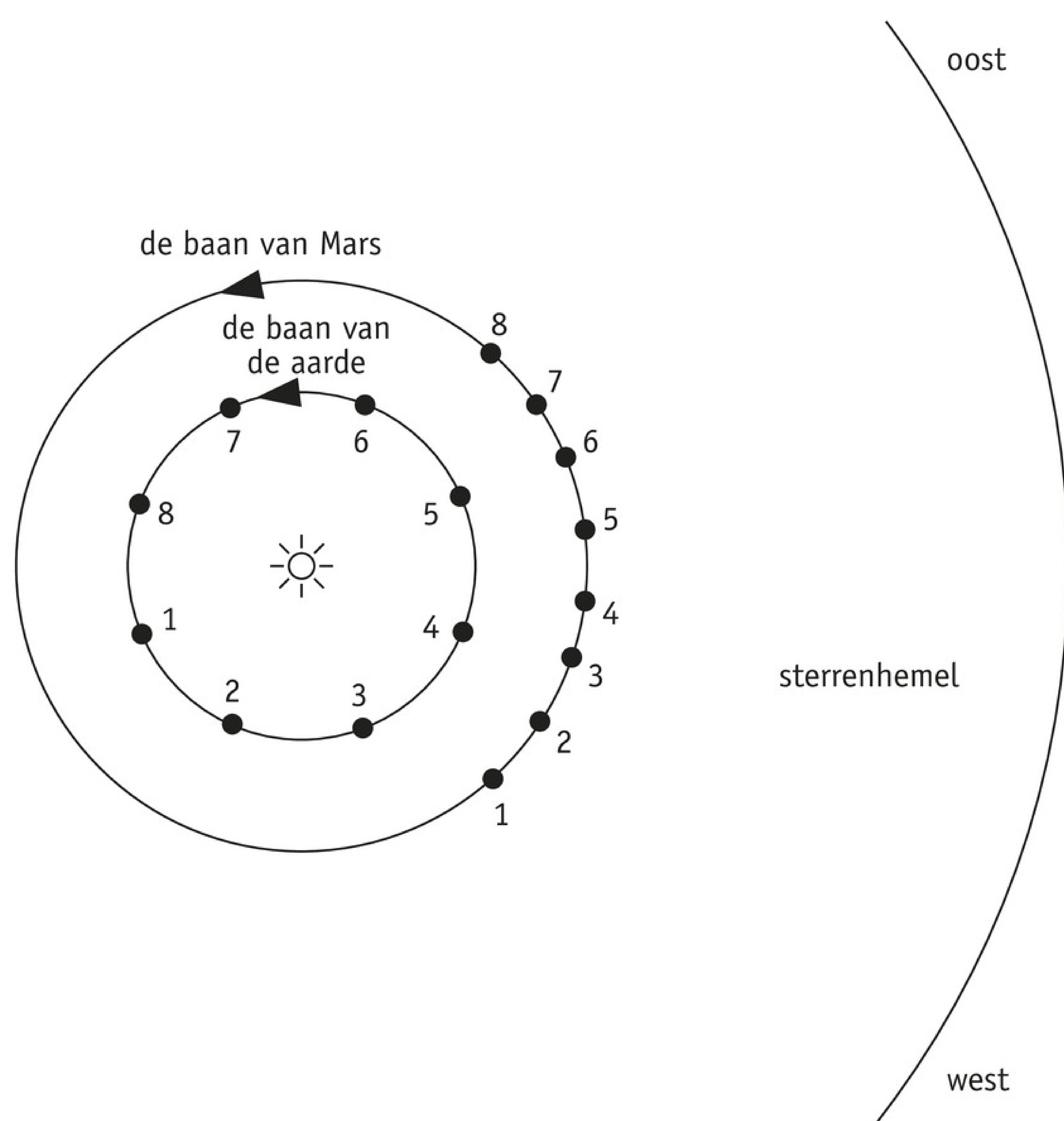
c Het woord 'planeet' betekent zoiets als *zwerver*. In Nederland werden planeten ook wel 'dwaalsterren' genoemd.
Leg uit wat het idee achter deze namen is.

★ 4

In figuur 8 zie je de aarde in haar baan om de zon. Ook de baan van Mars is getekend. Mars heeft een kleinere snelheid dan de aarde. Als de aarde op positie 1 is, bevindt Mars zich ook op positie 1. Dat geldt ook voor de andere posities. Posities en banen zijn niet op schaal.

a Teken in figuur 8 voor de acht aangegeven posities van de aarde de verbindingslijn door tot de sterrenhemel.

b Leg aan de hand van je tekening uit dat Mars vanaf de aarde een lusvormige baan lijkt te volgen.



figuur 8 De lusvormige beweging van Mars.

5

Deze opdracht gaat over de twee buurplaneten van de aarde, Venus en Mars.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.

a Welke planeet staat vanaf de aarde gezien altijd in de buurt van de zon? *Mars / Venus*

b Welke planeet heeft een kortere omlooptijd om de zon dan de aarde? *Mars / Venus*

c Welke planeet kun je soms de hele nacht aan de hemel zien staan? *Mars / Venus*

d Welke planeet kun je af en toe voor de zon langs zien bewegen? *Mars / Venus*

e Welke planeet kan zich in zijn baan het verst van de aarde verwijderen? *Mars / Venus*

6 In figuur 9 zie je de aarde, Venus en de zon. Venus is vier keer ingetekend, op vier verschillende posities in haar baan (A tot en met D).

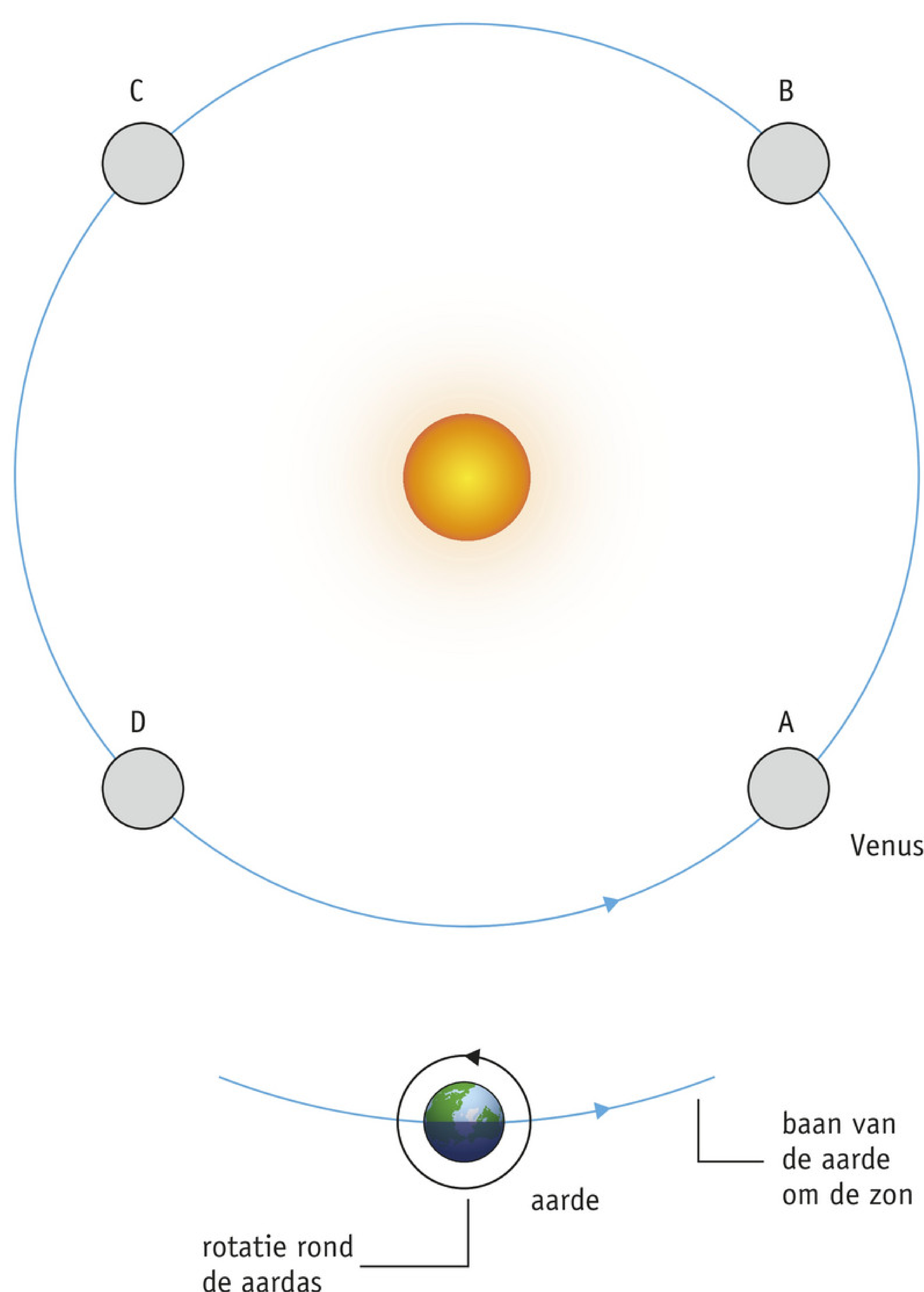
a In welke posities is Venus te zien als ‘avondster’?

b In welke posities is Venus te zien als ‘ochtendster’?

c Net als de maan heeft Venus ook schijngestalten. Je hebt een kleine telescoop nodig om dat goed te kunnen zien.
In welke twee posities is Venus ‘halfvol’ (vanuit de aarde gezien)? Tip: arceer in figuur 9 het niet-verlichte deel van de planeet.

d Hoe zie je Venus in de andere twee posities: grotendeels verlicht of grotendeels in het donker?

e Soms kijk je vanaf de aarde tegen de donkere, niet-verlichte kant van Venus aan. Dat is te vergelijken met de situatie bij nieuwe maan.
Teken in figuur 9 waar de planeet zich op dat moment bevindt.



figuur 9 Venus op vier posities rond de zon (niet op schaal).

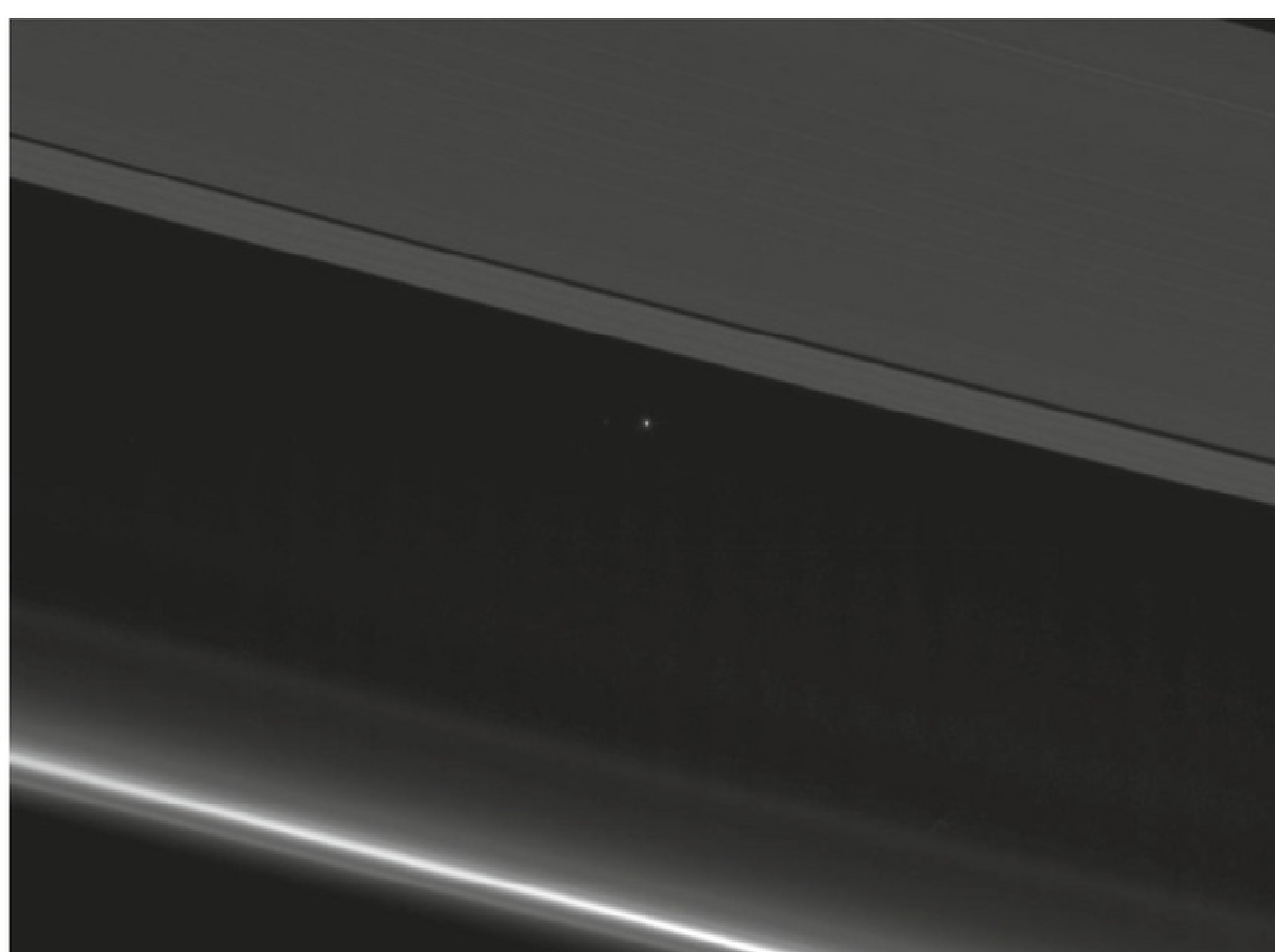
7  Zie de vaardigheid *Eenheden omrekenen*.
Hieronder staan vier weetjes over het zonnestelsel. Reken de afstanden in elk weetje om naar AE.

a Op 15 juli 2020 naderde Jupiter de aarde tot op een kortste afstand van 621 miljoen km. Jupiter was op dat moment een van de helderste objecten aan de hemel.

b Tussen Mars en Jupiter komen talrijke planetoïden (kleinere en grotere brokken ruimtepuin) voor, op een afstand van $3{,}15 \cdot 10^8$ tot $4{,}95 \cdot 10^8$ km van de zon.

c De foto in figuur 10 is in 2017 gemaakt door de planeetverkenner *Cassini*. Op dat moment was het ruimtevaartuig 1,4 miljard km van de aarde verwijderd.

d Tot 2006 werd Pluto de negende planeet genoemd. Het was ook de verste planeet, op gemiddeld $5{,}91 \cdot 10^9$ km van de zon. Nu is het geen planeet meer, maar een dwergplaneet.



figuur 10 *Cassini* maakte deze foto van de aarde tussen de ringen van Saturnus door.

8 Aysha en Simone zetten op een voetbalveld van 105 bij 65 m een model uit van het zonnestelsel. Voor 1 AE in werkelijkheid nemen ze in hun model 10 m. Als zon nemen ze een softbal, die ze midden in een van de doelen neerleggen (figuur 11). Ze geven de plaats van elk planeet aan door op de juiste afstand een vlag in de grond te steken. Ze beginnen met de vlag van de aarde, op 10 m van de softbal.

a Bereken hoe groot Aysha en Simone de afstand moeten maken tussen de overige planeten en de zon. Noteer de uitkomsten in de derde kolom van tabel 2.

b Welke planeten staan zo ver weg dat Aysha en Simone ze geen plekje kunnen geven op hun voetbalveld?

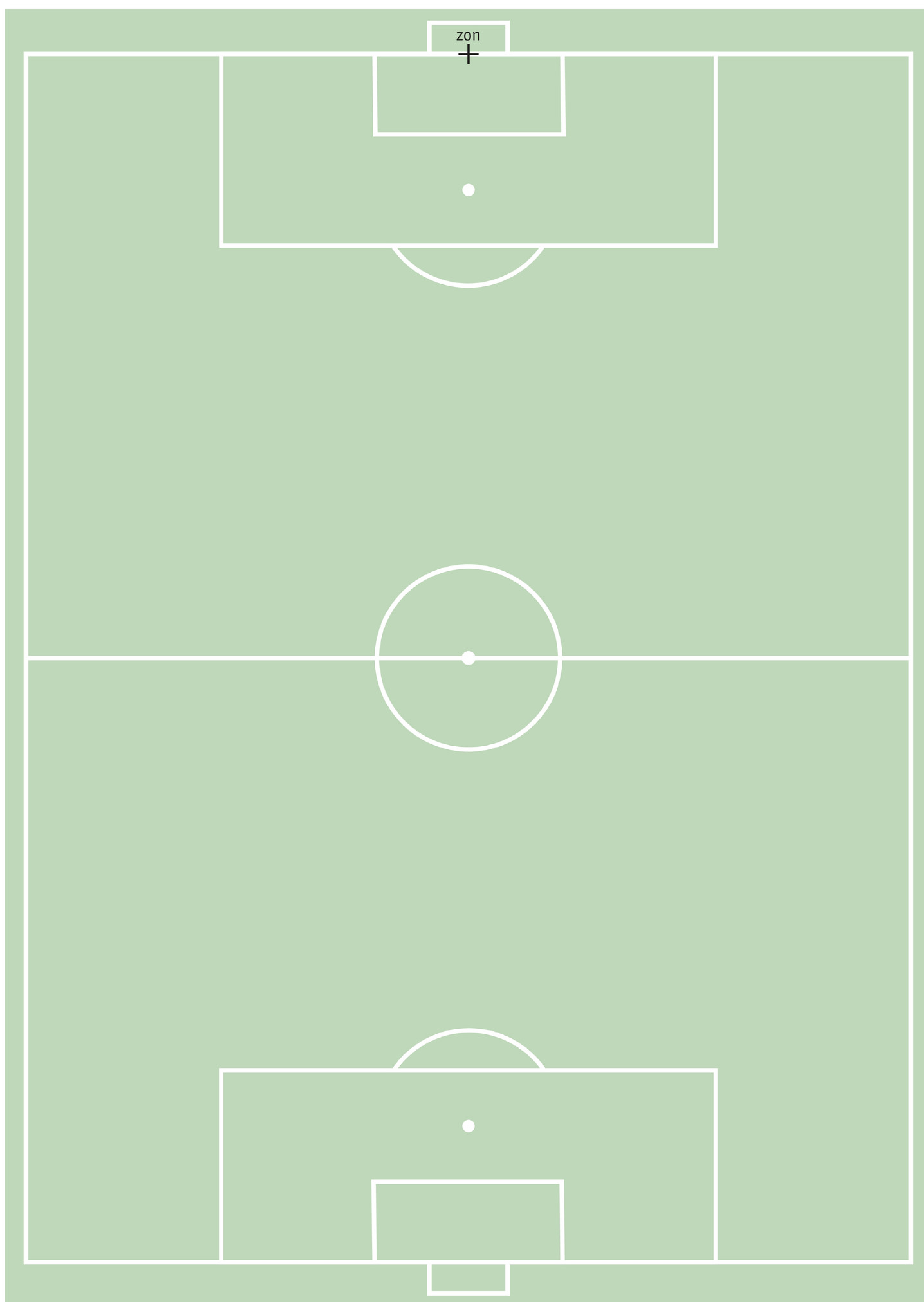
c Hoeveel voetbalvelden achter elkaar heb je nodig om de vlag van Neptunus op de juiste afstand in de grond te kunnen zetten?

d In figuur 11 kun je het model van Aysha en Simone natekenen. Voor 1 AE in werkelijkheid neem je een afstand van 2,0 cm in het model.
Bereken hoe groot je de afstanden tussen de planeten en de 'zon' op deze schaal moet maken. Rond de uitkomsten af op één decimaal en noteer ze in de rechter kolom.

e Teken de planeten op de juiste afstand van de zon. Gebruik daarna een passer om hun baan over het voetbalveld te tekenen. (De banen zijn weliswaar geen perfecte (halve) cirkels, maar de afwijking is zo klein dat je die mag verwaarlozen.)

tabel 2 Baangegevens van de planeten.

planeet	gemiddelde afstand tot de zon (AE)	afstanden in model Aysha en Simone (m)	afstanden in figuur 11 (cm)
Mercurius	0,39		
Venus	0,73		
aarde	1,0	10	2,0
Mars	1,5		
Jupiter	5,2		
Saturnus	9,5		
Uranus	19		
Neptunus	30		



figuur 11 Op een voetbalveld kun je een model van het zonnestelsel uitzetten.

9 De aarde heeft een massa van $5{,}972 \cdot 10^{24}$ kg en een volume van $1{,}08 \cdot 10^{21}$ m^3. Saturnus heeft een massa van $568 \cdot 10^{24}$ kg en een volume van $826 \cdot 10^{21}$ m^3.

- **a** Bereken de gemiddelde dichtheid van de aarde en van Saturnus.
- **b** Waarom wordt bij opdracht 9a gevraagd naar de gemiddelde dichtheid en niet naar de dichtheid?
- **c** Hoe zie je aan de dichtheid dat Saturnus een reuzenplaneet of gasreus is en de aarde een aardse planeet?

10 De aarde doet korter over haar omloop rond de zon dan Jupiter. Daardoor haalt de aarde Jupiter regelmatig in.

- **a** Noteer twee oorzaken waarom Jupiter meer tijd nodig heeft voor één omloop om de zon dan de aarde.
- **b** Hoe komt het dat je Jupiter het helderst ziet schijnen op het moment dat hij door de aarde wordt ingehaald?
- **c** Wanneer is Jupiter (vanaf de aarde gezien) het minst helder?
- **d** Welke planeet wordt het vaakst door de aarde ingehaald: Jupiter of Mars? Licht je antwoord toe.



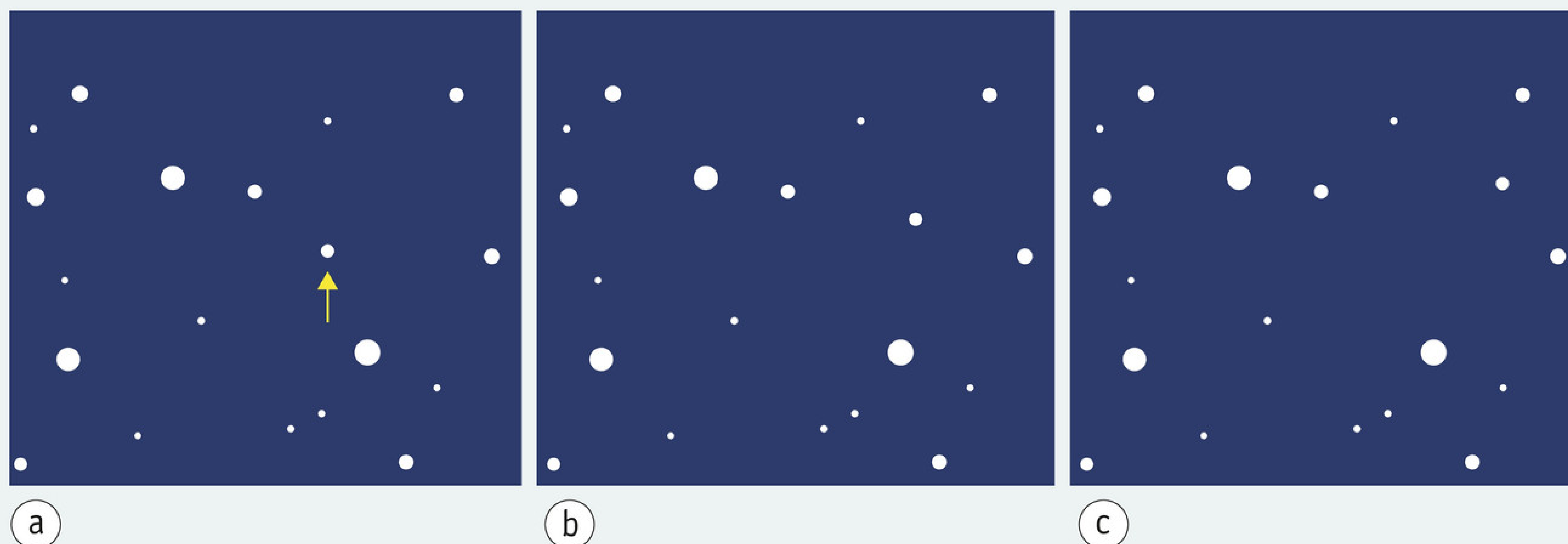
Test je kennis met de *Test jezelf.*

EXTRA PLANETOÏDEN EN KOMETEN

11 Planetoïden zien er door een telescoop bekeken uit als kleine lichtpuntjes, net als sterren. Je kunt ze herkennen aan het feit dat ze bewegen ten opzichte van de sterren om hen heen. In figuur 12a zie je een foto van een stukje sterrenhemel. Het lichtpuntje waar de pijl naar wijst, is een planetoïde.

- **a** Waar staat dezelfde planetoïde in figuur 12b? Zoek haar op en zet er een cirkel omheen.
- **b** Zoek de planetoïde vervolgens op in figuur 12c en zet er ook hier een cirkel omheen.
- **c** ‘Planetoïde’ betekent zoiets als: lijkend op een planeet, planeetachtige. In welk opzicht lijken planetoïden op planeten?
- **d** Planetoïden vallen veel minder op aan de hemel dan planeten. Leg uit hoe dat komt.

figuur 12 Drie afbeeldingen van hetzelfde stukje sterrenhemel, met 10 minuten tussenruimte genomen.



12 Astronomen zijn in 2013 een grote zoektocht gestart naar 'potentieel gevaarlijke' planetoïden (figuur 13). Deze planetoïden worden ook wel 'aardscheerders' genoemd, omdat hun baan vlak langs die van de aarde scheert en deze af en toe ook kruist.

a Waarom vormen de planetoïden in de hoofdgordel geen gevaar voor de mensen op aarde?

b Op 9 februari 2018 passeerde planetoïde 2018 CB de aarde op een afstand van 64 000 km. De doorsnede van dit brok ruimtepuin was ongeveer 40 m.
Bereken hoe groot deze afstand is in AE.

c Astronomen zeiden na afloop dat planetoïde 2018 CB de aarde op het nippertje gemist had.
Leg uit waarom dit voor astronomen een begrijpelijke manier van zeggen is.

d Als astronomen een nieuwe aardscheerder vinden, vermelden ze in het bericht daarover vaak de grootte en de snelheid (ten opzichte van de aarde) van de planetoïde.
Waarom zouden ze juist deze twee gegevens vermelden?

figuur 13

De jacht op aardscheerders

In ons zonnestelsel bevinden zich heel wat rondslingerende ruimtestenen. Veel van deze brokken vormen geen gevaar voor de aarde. Maar af en toe komen we wel een gevaarlijke aardscheerder tegen, waarvan de baan die van de aarde kruist.
Astronomen noemen een planetoïde 'potentieel gevaarlijk' als deze (in de toekomst) dicht bij de aarde in de buurt komt en groot genoeg is om bij een inslag grote schade aan te richten. Inmiddels hebben onderzoekers meer dan 18 000 aardscheerders ontdekt.
De grootste exemplaren zijn natuurlijk het makkelijkst te vinden; naar schatting is zo'n 90% van alle aardscheerders groter dan een kilometer opgespoord. De uitdaging is nu om ook zoveel mogelijk kleinere (tot een omvang van zo'n 140 meter) planetoïden op te sporen.

Naar: https://www.scientias.nl (geraadpleegd op 14 november 2020).

3 De atmosfeer van een planeet

LEERDOELEN

7.3.1 Je kunt uitleggen wat bedoeld wordt met 'een vacuüm' en 'de atmosfeer van een planeet'.

7.3.2 Je kunt uitleggen waardoor satellieten jarenlang rond de aarde kunnen blijven draaien.

7.3.3 Je kunt de verschillen benoemen tussen de atmosferen van de aarde, Venus en Mars.

7.3.4 Je kunt toelichten waarvoor het leven op aarde zuurstof en koolstofdioxide nodig heeft.

7.3.5 Je kunt uitleggen waardoor luchtdruk ontstaat en waarom je er vaak niets van merkt.

7.3.6 Je kunt benoemen met welk instrument en in welke eenheid je de luchtdruk kunt meten.

7.3.7 Je kunt toelichten hoe het komt dat de luchtdruk afneemt als je stijgt in de atmosfeer.

EXTRA 7.3.8 Je kunt uitleggen waarom mensen in de ruimte een ruimtepak nodig hebben.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN							
	7.3.1	7.3.2	7.3.3	7.3.4	7.3.5	7.3.6	7.3.7	7.3.8
Onthouden	1b		1cde			2bcd	1a, 2e	10abcd
Begrijpen		3abc, 7b	9a	7d	2a		7c	11d
Toepassen	8a		9bc		6a, 8bc		4ab, 5ab, 7e	11abc
Analyseren		7a	9d		6bc		5c	

Rond de aarde bevindt zich een laag lucht die enkele honderden kilometers dik is. Dat is erg weinig, vergeleken met de afmetingen van de aarde zelf. Toch zou er zonder die dunne laag lucht geen leven op aarde mogelijk zijn.

HET VACUÜM BUITEN DE ATMOSFEER

Het heelal bestaat voor het overgrote deel uit lege ruimte. Er is helemaal niets, ook geen losse moleculen, alleen ruimte zonder iets erin. Als een voorwerp door zo'n lege ruimte beweegt, hoeft het niets opzij te duwen. Er is niets dat zijn beweging afremt. Zo'n lege ruimte zonder moleculen noem je een **vacuüm**.

De aarde heeft, net als veel andere planeten, een **atmosfeer** of dampkring. Zo noem je het mengsel van gassen dat de buitenste laag van een planeet vormt (figuur 1). Vaak komen er in zo'n atmosfeer wolken voor die uit kleine, zwevende druppeltjes bestaan. De planeet Venus heeft zelfs zo'n dicht wolkendek dat er van het planeetoppervlak niets te zien is.



figuur 1 Op deze satellietfoto zie je de atmosfeer van de aarde.

Hoe hoger je in de atmosfeer van een planeet komt, des te ijler zijn de gassen om je heen: het aantal moleculen per kubieke meter wordt steeds kleiner. Je kunt daardoor niet precies zeggen hoe dik de atmosfeer is. Op grote hoogte gaat hij ongemerkt over in het vacuüm van de ruimte. Op zo'n 1000 km hoogte ben je de grens wel zo ongeveer voorbij. De moleculen ontsnappen niet de ruimte in doordat een planeet de moleculen aantrekt.

Rond de aarde draaien allerlei satellieten, die met een raket in een baan rond de aarde zijn gebracht. Als een satelliet zich ver genoeg boven de atmosfeer bevindt, zijn er geen moleculen die zijn beweging afremmen. De satelliet houdt dan de snelheid die hij bij de lancering heeft meegekregen. Zo kan hij jaar in jaar uit zijn rondjes rond de aarde blijven draaien, net zoals de maan dat doet.

EEN MENGSEL VAN GASSEN

De atmosfeer van de aarde bestaat voor 78% uit stikstof (N_2) en voor 21% uit zuurstof (O_2). Daarnaast komen er kleine hoeveelheden voor van andere gassen, zoals argon (Ar) en koolstofdioxide (CO_2). Dit mengsel van gassen noem je lucht. De atmosfeer bevat ook waterdamp (H_2O), maar de hoeveelheid waterdamp kan per kubieke meter sterk wisselen.

Zuurstof is onmisbaar voor de mensen (en dieren) op aarde. Je lichaam heeft een constante aanvoer van zuurstof nodig om te kunnen functioneren (figuur 2). Je longen zorgen ervoor dat je lichaam steeds van nieuwe zuurstof wordt voorzien. In je longen wordt zuurstof uit de ingeademde lucht opgenomen in het bloed. Het bloed vervoert de zuurstof daarna naar alle delen van je lichaam.

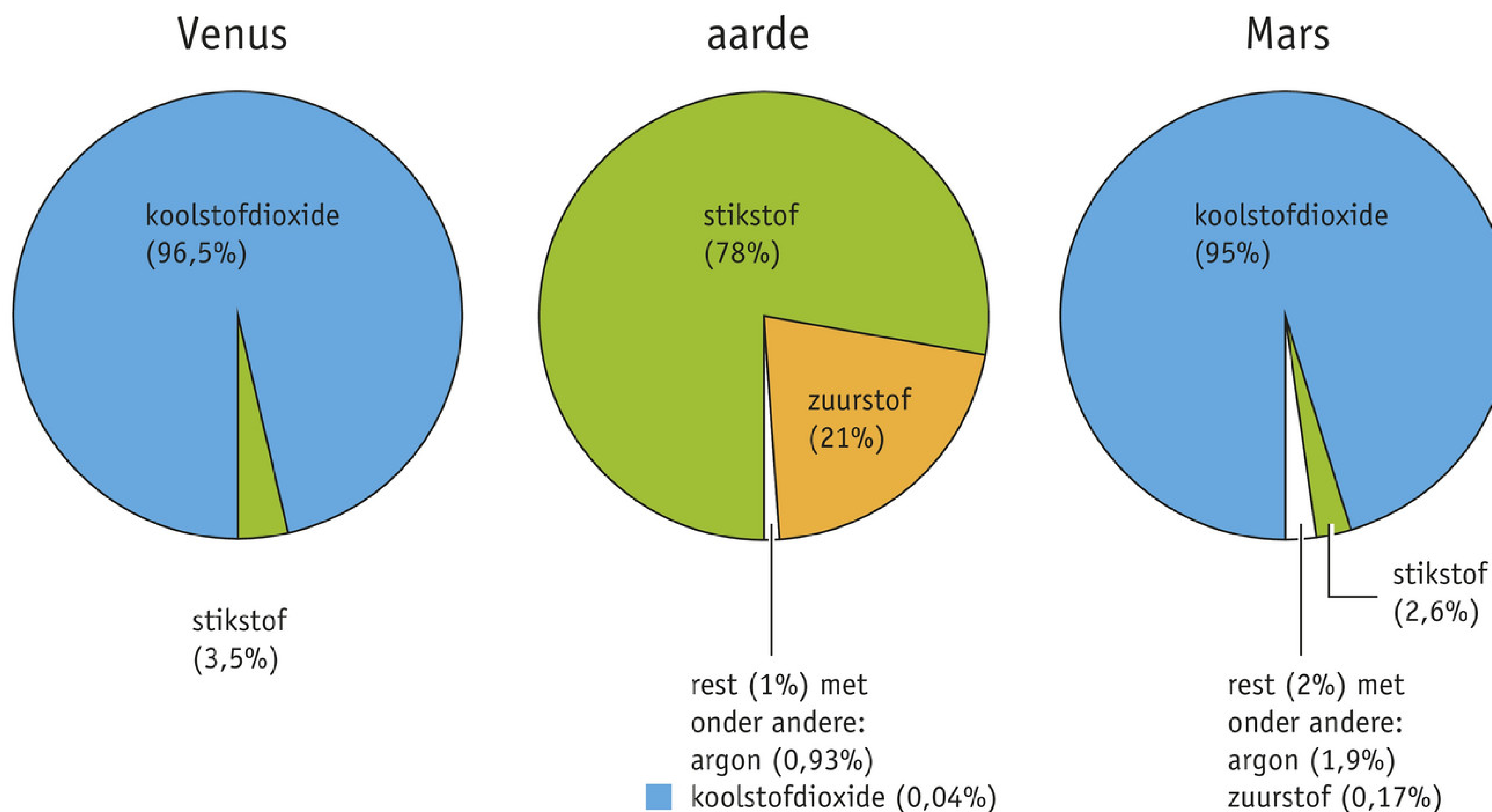


figuur 2 Een piloot die op grote hoogte vliegt, krijgt extra zuurstof via een zuurstofmasker.

Lucht bestaat voor slecht 0,04% uit koolstofdioxide. Toch is dit gas, net als zuurstof, onmisbaar voor het leven op aarde. Planten hebben het nodig om te kunnen groeien. Koolstofdioxide helpt de atmosfeer ook om warmte vast te houden en zo de aarde op een leefbare temperatuur te houden. De atmosfeer zorgt ervoor dat de gemiddelde temperatuur op aarde ongeveer 15 °C blijft. Hiervoor is het broeikaseffect verantwoordelijk: de atmosfeer laat het zonlicht door, dat vervolgens de aarde bereikt. Maar de warmte die het aardoppervlak daardoor weer uitstraalt, gaat niet in zijn geheel terug de ruimte in. Er ontstaat een probleem als de hoeveelheid koolstofdioxide te groot wordt, zodat de aarde te veel opwarmt.

De atmosfeer van Venus en Mars heeft een totaal andere samenstelling dan die van de aarde (figuur 3). Koolstofdioxide is op beide planeten het belangrijkste bestanddeel. Zuurstof komt er niet of nauwelijks voor. Mensen kunnen in zo'n atmosfeer onmogelijk overleven. Ze zouden meteen omkomen door zuurstofgebrek.

figuur 3 De samenstelling van de atmosfeer van Venus, de aarde en Mars.

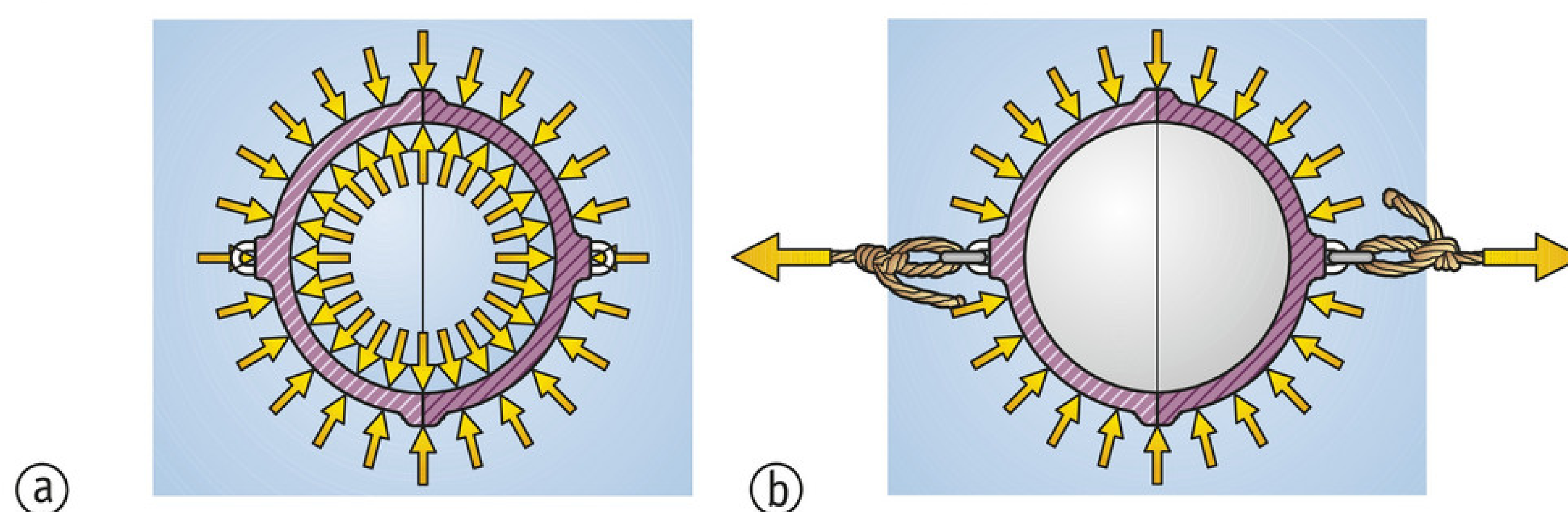


LUCHTDRUK

Je leven speelt zich af op het aardoppervlak, onder in de atmosfeer van de aarde. Overal om je heen en boven je is lucht. En al heeft lucht een kleine dichtheid, alle lucht boven je heeft bij elkaar toch een behoorlijk gewicht. Daardoor oefent die lucht een druk uit op alles wat zich op aarde bevindt. Deze druk noem je de **luchtdruk** of de **atmosferische druk**.

Meestal merk je niets van de luchtdruk. Daarom zijn er allerlei proeven bedacht die je laten zien hoe groot de luchtdruk is. Een beroemd voorbeeld is de proef met de Maagdenburger halve bollen. Bij deze proef worden twee holle, halve bollen op elkaar gezet. Daarna wordt de lucht tussen de halve bollen uit gepompt. Je kunt de halve bollen dan niet meer van elkaar af halen (figuur 4).

figuur 4 De tegendruk verdwijnt als de lucht tussen de halve bollen wordt weggepompt.

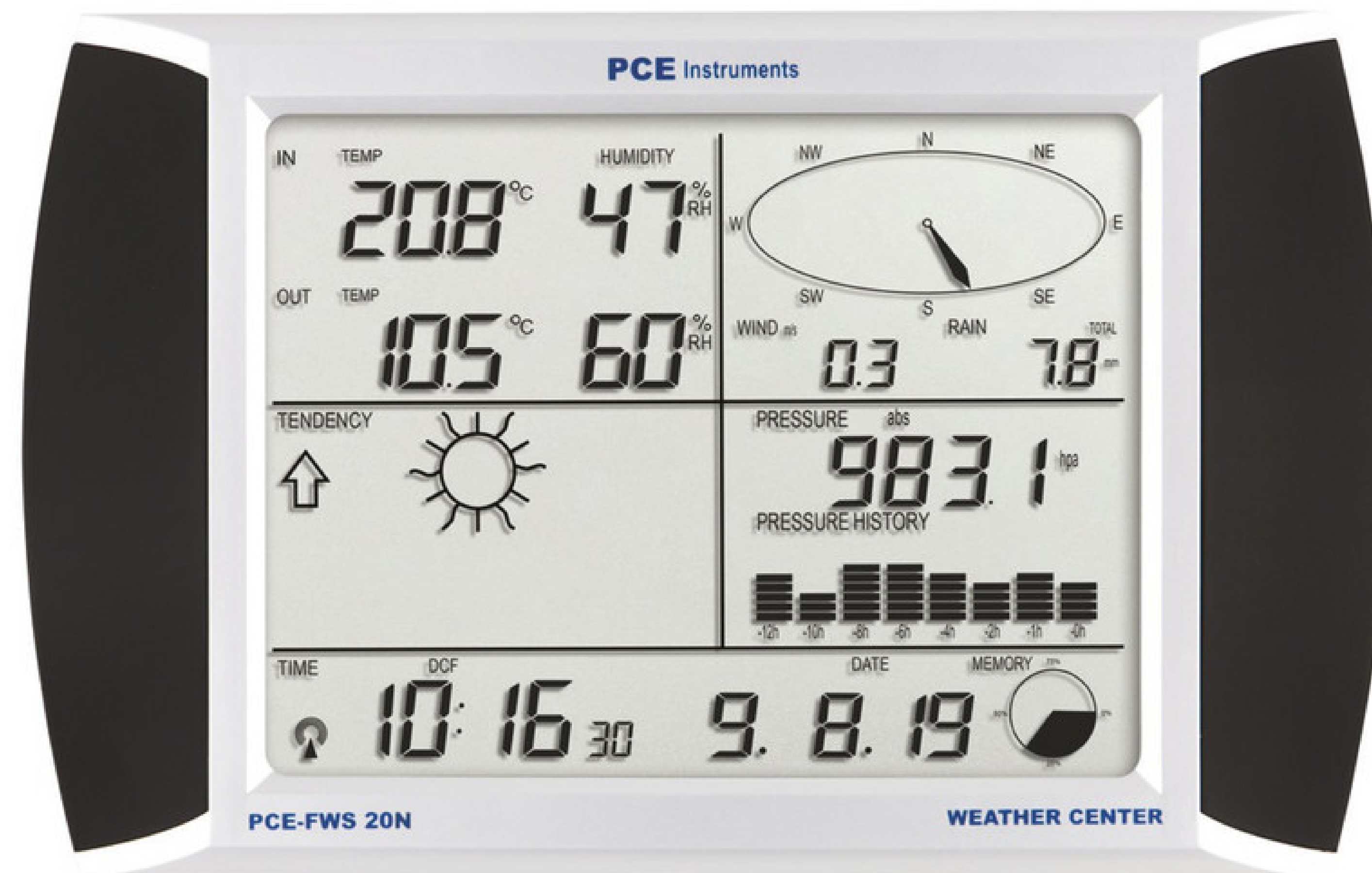


Als je twee halve bollen los op elkaar zet, blijven ze niet vanzelf aan elkaar vastzitten. Zolang er nog lucht in de halve bollen zit, kun je ze zonder moeite van elkaar af halen. De lucht in de bollen zorgt voor een **tegendruk** die even groot is als de luchtdruk van buitenaf (figuur 4a). De luchtdruk en de tegendruk heffen elkaar dan op.

Dat verandert als je de lucht tussen de halve bollen wegpompt. Er is dan geen tegendruk meer. Alleen de luchtdruk van buitenaf blijft over. Die duwt de halve bollen stevig tegen elkaar aan (figuur 4b). Let erop dat die druk niet alleen van boven komt, maar van alle kanten!

DE DRUK METEN

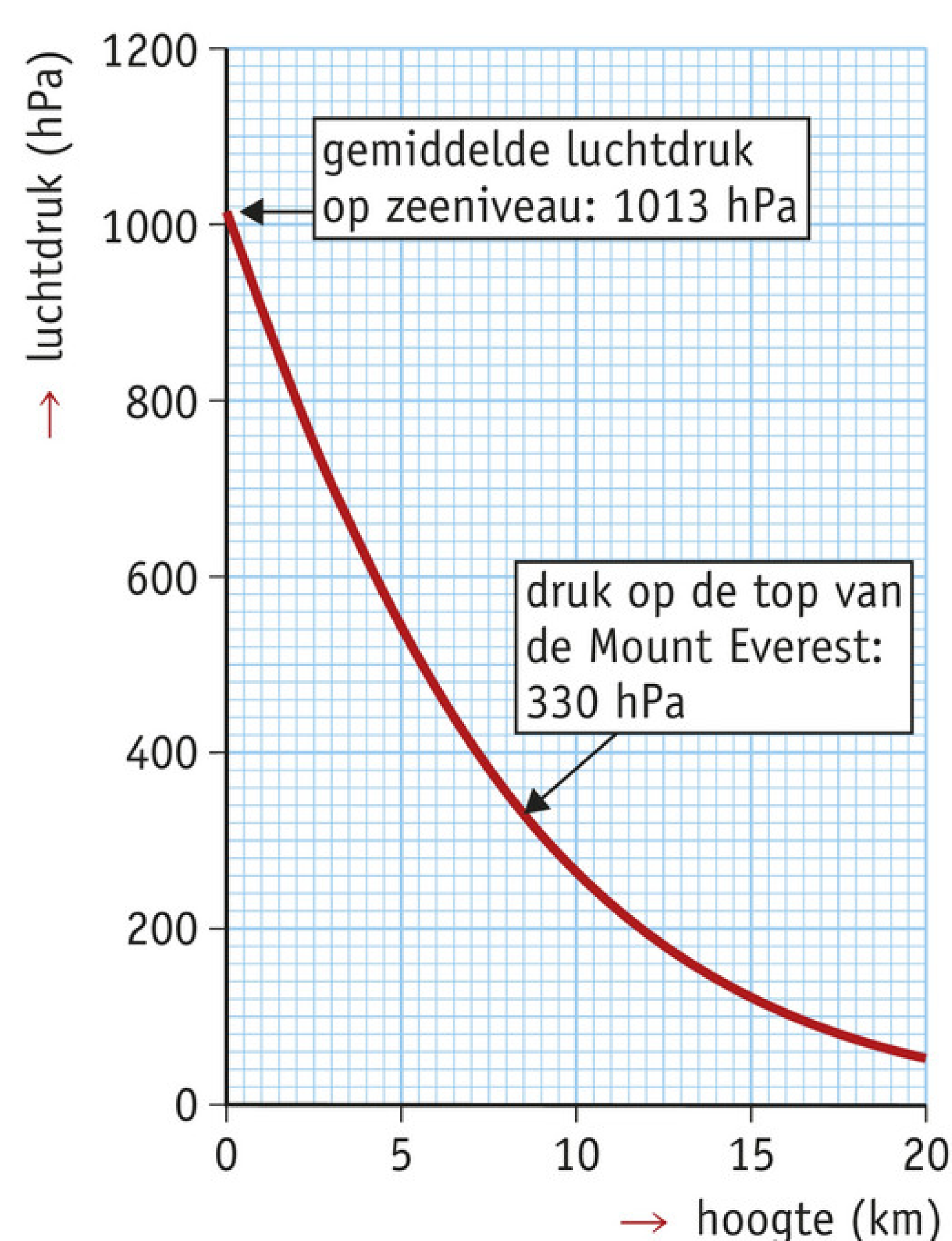
Met een **barometer** kun je meten hoe groot de luchtdruk is. Weerkundigen gebruiken voor de luchtdruk meestal de eenheid hectopascal (hPa). Deze is afgeleid van de officiële eenheid van druk, de pascal (Pa). 1 hPa = 100 Pa. Het weerstation in figuur 5 heeft een digitale barometer. Deze geeft aan dat de luchtdruk 983,1 hPa is. Dat is bijna 100 000 Pa.



figuur 5 Het display van een digitaal weerstation, met rechtsonder de luchtdruk.

Als je regelmatig op een barometer kijkt, merk je dat de luchtdruk veranderlijk is. Dat wil niet zeggen dat de luchtdruk zomaar elke waarde kan krijgen. Op zeeniveau wordt de luchtdruk vrijwel nooit lager dan 950 hPa of hoger dan 1050 hPa. Gemiddeld is de luchtdruk op zeeniveau 1013 hPa. Deze waarde wordt ook wel de **standaarddruk** genoemd.

De luchtdruk neemt af met de hoogte: hoe hoger je komt, des te kleiner is de luchtdruk (figuur 6). Dat komt doordat de hoeveelheid lucht boven je hoofd steeds kleiner wordt als je omhooggaat. Op 5,5 km boven zeeniveau ligt de helft van de moleculen in de atmosfeer al beneden je. De luchtdruk is daarom op die hoogte ook maar de helft van de druk op zeeniveau.



figuur 6 Het verband tussen de hoogte en de luchtdruk.

De atmosferische druk is op elke planeet anders. En de verschillen zijn groot. Aan het oppervlak van Venus is de druk erg hoog: circa $92 \cdot 10^3$ (92 000) hPa. Dat is ruim 90 keer zoveel als de aardse standaarddruk. De druk op Mars is juist veel lager dan op aarde. Daar schommelt de druk op gemiddelde hoogte rond 6,1 hPa. Dat is maar 0,6% van de standaarddruk.


Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA HET RUIMTEPAK

Je lichaam is erop ingesteld te functioneren bij een atmosferische druk van circa 1000 hPa. Als je opstijgt in de atmosfeer, wordt de druk steeds lager. Tot ongeveer 5 km hoogte kan je lichaam zich nog wel aanpassen. Maar daarboven ontstaan al snel problemen. Verkeersvliegtuigen hebben daarom een drukcabine, zodat de passagiers geen last hebben van de lage luchtdruk buiten het vliegtuig.

De problemen zijn nog groter in het vacuüm van de ruimte. Zonder bescherming kun je er hoogstens enkele minuten overleven. Om toch in de ruimte actief te kunnen zijn, is een ruimtepak onmisbaar (figuur 7). Zo'n pak voorziet de drager van zuurstof, verwijdert uitgeademde koolstofdioxide, zorgt voor een werkbare temperatuur en beschermt tegen snel bewegend ruimtegruis.

Een belangrijke functie van een ruimtepak is het uitoefenen van druk op het lichaam. Daarvoor zijn overal in het pak luchtdichte ruimtes aangebracht. Voor een ruimtewandeling worden deze ruimtes opgeblazen. Zo wordt de druk op het lichaam even groot gemaakt als de druk in de longen van de astronaut. Dat voorkomt dat de longen sterk uitzetten en het tere longweefsel wordt beschadigd.



figuur 7 Een astronaut in een ruimtepak tijdens een ruimtewandeling.

1 Vul in.

a Hoe hoger je in de atmosfeer komt, des te .... worden de gassen om je heen: het aantal .... per kubieke meter wordt steeds kleiner.

b Buiten de .... bevindt zich alleen lege ruimte. Zo'n lege ruimte waarin helemaal geen moleculen voorkomen, noem je een ....

c Lucht is een mengsel van verschillende gassen. De twee meest voorkomende bestanddelen zijn .... (78%) en .... (21%).

d De atmosfeer van de planeten Venus en .... bestaat grotendeels uit .... Mensen zouden in zo'n atmosfeer meteen gebrek aan .... krijgen.

e Van de vier aardse planeten in het zonnestelsel heeft .... de hoogste atmosferische druk en .... de kleinste.

2 Beantwoord de volgende vragen.

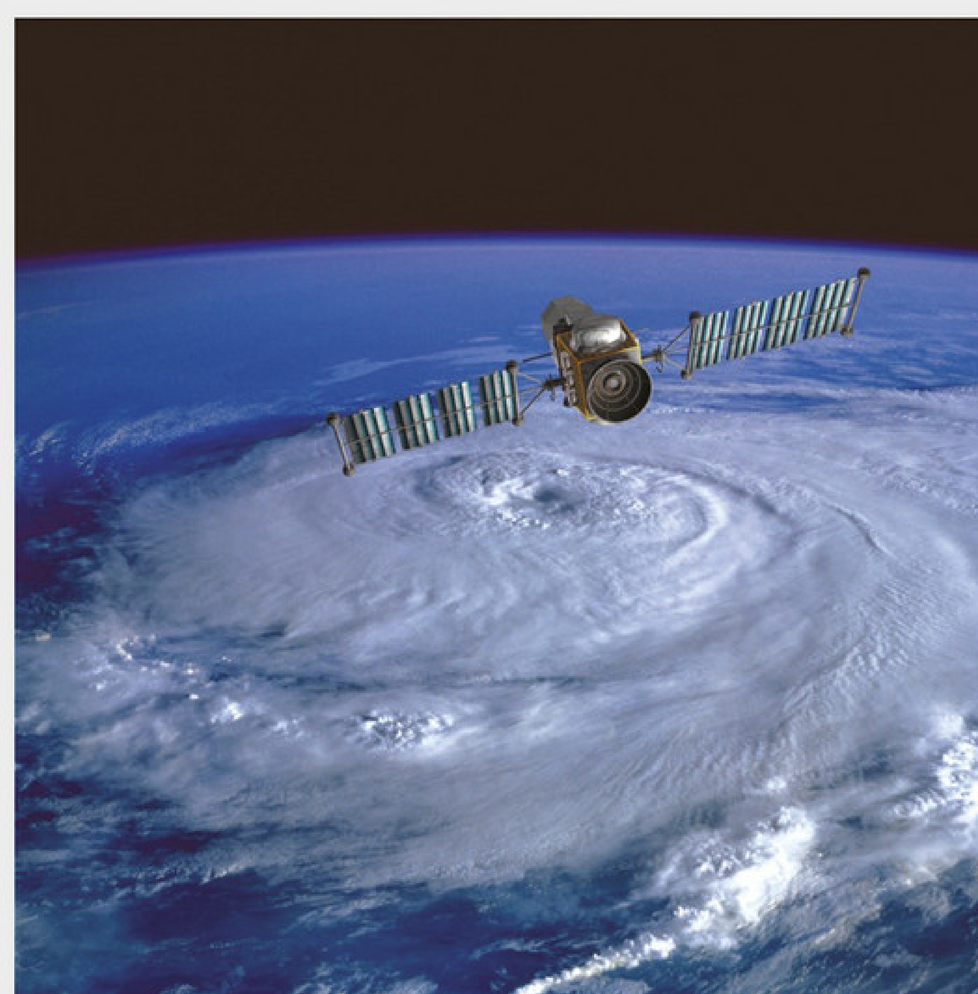
a Wat is de oorzaak van de druk die de atmosfeer op je uitoefent?
b Met welk meetinstrument kun je de hoogte van de luchtdruk meten?
c In welke eenheid geven weerkundigen meestal de luchtdruk op?
d Hoe groot is de gemiddelde atmosferische druk op zeeniveau?
e Op welke hoogte is de luchtdruk 50% van de druk op zeeniveau?

3 Satellieten in een (verhoudingsgewijs) lage baan om de aarde hebben een beperkte levensduur. Op een website wordt uitgelegd hoe dat komt (figuur 8).
Uit welk gegeven in figuur 8 kun je opmaken:

a dat er tot op 1000 km hoogte boven de aarde nog wel enkele moleculen te vinden zijn?
b dat er op 800 km hoogte boven de aarde wel heel weinig moleculen voorkomen?
c dat er op 300 km hoogte duidelijk meer moleculen voorkomen dan op 400 km hoogte?

figuur 8 Informatie over de levensduur van een satelliet.

Het einde van een satelliet



Een satelliet die op minder dan 1000 km hoogte rond de aarde draait, valt na verloop van tijd terug in de atmosfeer. Daar verbrandt hij door de enorme warmte die door de wrijving met de lucht ontstaat.
Hoe lang het duurt voor een satelliet terugvalt, hangt af van de oorspronkelijk baanhoogte. Op 800 km is dat een paar honderd jaar, op 400 km hoogte een enkel jaar en op 300 km een paar maanden.
Als regel wachten satellietoperators niet tot een satelliet vanzelf terugvalt. Ze sturen 'oude' satellieten naar een veilige en stabiele eindbaan of kiezen voor een versnelde terugkeer naar de atmosfeer.

4 Bergbeklimmers nemen soms flessen met zuurstof mee naar boven.

a Waarom hebben de meeste klimmers extra zuurstof nodig om de hoogste toppen in de Himalaya te beklimmen?

b Waarom hoeven bergbeklimmers geen zuurstofflessen mee te nemen als ze in de Alpen gaan klimmen?

5 Een eenvoudige hoogtemeter is niets anders dan een barometer waarbij de schaalverdeling is veranderd: er wordt geen luchtdruk aangegeven, maar de hoogte.

a Leg uit dat een barometer gebruikt kan worden als hoogtemeter.

b Bij zo'n hoogtemeter moet 's morgens de juiste hoogte worden ingesteld. Leg uit waarom.

c Rob en Karin maken een bergwandeling. Ze hebben 's morgens de hoogtemeter juist ingesteld. In de loop van de middag daalt de luchtdruk. Leg uit of de hoogtemeter dan een te grote of een te kleine hoogte aangeeft.

6 De luchtdruk is op aarde zo groot dat op 1 cm^2 een massa van 1 kg drukt. De dichtheid van lucht is 1,29 g/dm^3.

a Bereken met deze gegevens de hoogte van de atmosfeer in km. Rond je antwoord af op 1 decimaal.

b Waarom klopt de werkelijke hoogte van de atmosfeer niet met wat je bij opdracht 6a hebt berekend?

c Leg uit of de atmosfeer in werkelijkheid hoger of lager is dan waarde die je bij opdracht 6a hebt berekend.

7 Sinds 1998 draait het Internationaal Ruimtestation (International Space Station of ISS) op ruim 400 km hoogte om de aarde. Het station bestaat uit losse modules die op aarde zijn gebouwd. De modules zijn daarna met een raket in een baan om de aarde gebracht en vervolgens aan het ISS gekoppeld. Het station is zo sinds 1998 steeds verder gegroeid (figuur 9).

a Het ISS beweegt met een snelheid van 27 600 km/h. Toch is het station niet gestroomlijnd, zoals snelle vliegtuigen en raketten dat wel zijn. Leg uit waarom het niet nodig is het ISS te stroomlijnen.

b Het ISS daalt elke dag zo'n 100 m. Om het station weer op de juiste hoogte te krijgen, wordt regelmatig een raketmotor aangezet. Dat noem je een *reboost*. Leg uit waarom het ISS regelmatig zo'n *reboost* nodig heeft.

c De modules van het ISS waarin mensen verblijven, zijn gevuld met lucht. Hierdoor staan deze modules onder een druk van 101,3 kPa. Reken deze druk om naar hPa. Wat valt je op?

d De lucht aan boord van het ISS heeft dezelfde samenstelling als de aardatmosfeer. Om die atmosfeer in stand te houden, wordt een apparaat gebruikt dat zuurstof uit water maakt. Er is bovendien altijd een reservevoorraad zuurstof aanwezig. Waarom is er aan boord van het ISS voortdurend behoefte aan nieuwe zuurstof?

e De druk in het ISS wordt zorgvuldig in de gaten gehouden. Als de druk opeens begint te dalen, wordt er meteen alarm geslagen. Wat is er in dat geval waarschijnlijk aan de hand?



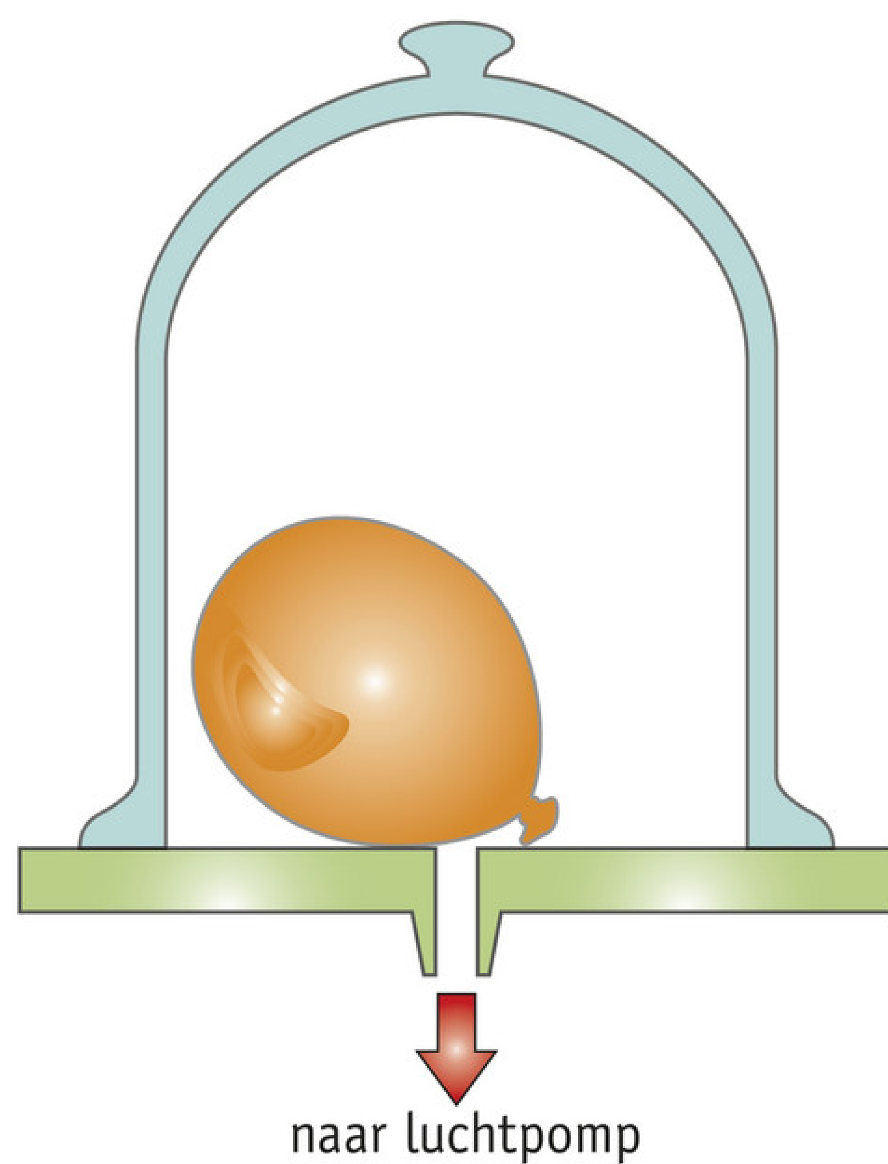
figuur 9 Het Internationaal Ruimtestation ISS.

8 Jesse legt een half opgeblazen ballon onder een glazen stolp. Daarna zet hij een luchtpomp aan die de lucht onder de stolp wegpompt (figuur 10).

a Hoe ziet de ballon eruit als (bijna) alle lucht onder de stolp is weggepompt?

b Geef hiervoor een verklaring. Gebruik de woorden 'luchtdruk' en 'tegendruk'.

c Je kunt de ballon vervangen door een dot scheerschuim of een chocozoen. Leg uit hoe het komt dat je dan iets vergelijkbaars ziet gebeuren.



figuur 10 Een proef met een half opgeblazen ballon.

★ 9

Op de website van het KNMI staat een artikel over het broeikaseffect op aarde, Venus en Mars (figuur 11).

a Zou er op aarde veel veranderen als er geen natuurlijk broeikaseffect zou bestaan? Waaruit leid je dat af?

b Het broeikaseffect op Venus is veel sterker dan het broeikaseffect op aarde. Welke twee oorzaken daarvoor noemt het artikel?

c Waardoor is het broeikaseffect op Mars veel kleiner dan dat van de aarde?

d Het broeikaseffect dat in het artikel wordt beschreven, is zonder enige twijfel goed voor het leven op aarde.
Hoe komt het dat het broeikaseffect in de media juist vaak een gevaar wordt genoemd?

figuur 11 Een artikel op de website van het KNMI.

Broeikaseffect op aarde en haar buurplaneten

Op aarde wordt de broeikaswerking van de atmosfeer hoofdzakelijk bepaald door waterdamp en koolstofdioxide. Samen zorgen deze twee gassen voor een natuurlijk broeikaseffect van 33 °C.
De buurplaneten, Venus en Mars, hebben een atmosfeer die vrijwel helemaal uit het broeikasgas koolstofdioxide bestaat. Door de zeer hoge luchtdruk op Venus bevat haar atmosfeer veel meer massa aan koolstofdioxide dan de ijle atmosfeer van Mars.
Venus is de broeikasplaneet bij uitstek: haar atmosfeer verhoogt de oppervlaktetemperatuur met ongeveer 500 °C. Op Mars is het natuurlijke broeikaseffect maar ongeveer 3 °C.




Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA HET RUIMTEPAK

10 Vul in.

a Tot ongeveer .... km hoogte boven zeeniveau kan je lichaam zich nog wel aanpassen aan de steeds .... luchtdruk.

b Verkeersvliegtuigen hebben een .... waarin de druk veel .... is dan die van de ijle lucht op 10 km hoogte.

c Een ruimtepak voorziet de drager van voldoende .... om te ademen en verwijdert tegelijk de uitgeademde ....

d Een ruimtepak oefent een druk uit op het .... van de astronaut die even groot is als de druk in haar of zijn ....

11 Het ruimtestation ISS is gevuld met gewone lucht van 1013 hPa (zie opdracht 7). Maar tijdens een ruimtewandeling ademt een astronaut zuivere zuurstof in met een druk van 297 hPa.

a Tot welke druk moeten de verschillende luchtdichte ruimtes in het ruimtepak dus worden opgeblazen?

b Wat gaat er fout als je een astronaut gewone lucht van 297 hPa zou laten inademen?

c Door de astronaut zuurstof te laten inademen, kun je de druk in het ruimtepak laag houden.
Leg uit waarom een lagere druk een astronaut meer bewegingsvrijheid geeft. Tip: denk aan het oppompen van een fietsband.

d De buitenste lagen van een ruimtepak bestaan uit een weefsel dat ook voor kogelvrije vesten wordt gebruikt. Dit weefsel moet micrometeorieten (snel bewegend ruimtegruis) tegenhouden.
Wat gaat er fout als een micrometeoriet een lek slaat in een van de luchtdichte ruimtes in het ruimtepak?

4 De bouw van het heelal

LEERDOELEN

7.4.1 Je kunt sterren, planeten en sterrenbeelden vinden met behulp van een sterrenkaart.
7.4.2 Je kunt uitleggen wat een ster is en dat de zon eigenlijk maar een heel gewone ster is.
7.4.3 Je kunt uitleggen wat de parallax is en hoe je met behulp van de parallax de afstand tot een ster kunt bepalen.
7.4.4 Je kunt toelichten dat een lichtjaar geen eenheid van tijd is, maar een eenheid van afstand.
7.4.5 Je kunt afstanden omrekenen tussen km, astronomische eenheid, lichtjaar en parsec (met machten van 10).
7.4.6 Je kunt uitleggen wat een sterrenstelsel is en wat je kunt zien van 'ons eigen sterrenstelsel'.
7.4.7 Je kunt in grote lijnen beschrijven hoe het heelal volgens inzichten van nu is opgebouwd.
EXTRA 7.4.8 Je kunt uitleggen wat exoplaneten zijn en hoe ze door astronomen worden opgespoord.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN							
	7.4.1	7.4.2	7.4.3	7.4.4	7.4.5	7.4.6	7.4.7	7.4.8
Onthouden		1a, 2b	1bc	1d	8a	1e	2e	
Begrijpen	3abcde	2a	5abc, 6bcd		8b, 9b	2c	2d	13abc
Toepassen			6ae, 11bc		7ab, 8c, 9a, 10ab, 11a	7cd	12	13d, 15
Analyseren	4ab				9c			13e, 14

Het heelal is onvoorstelbaar groot. Dat maakt het moeilijk om afstanden in het heelal betrouwbaar te meten. Astronomen hebben daar speciale meetmethoden voor ontwikkeld. Zo hebben ze stap voor stap een beeld opgebouwd van hoe het heelal buiten ons zonnestelsel in elkaar zit.

DE STERRENKAART

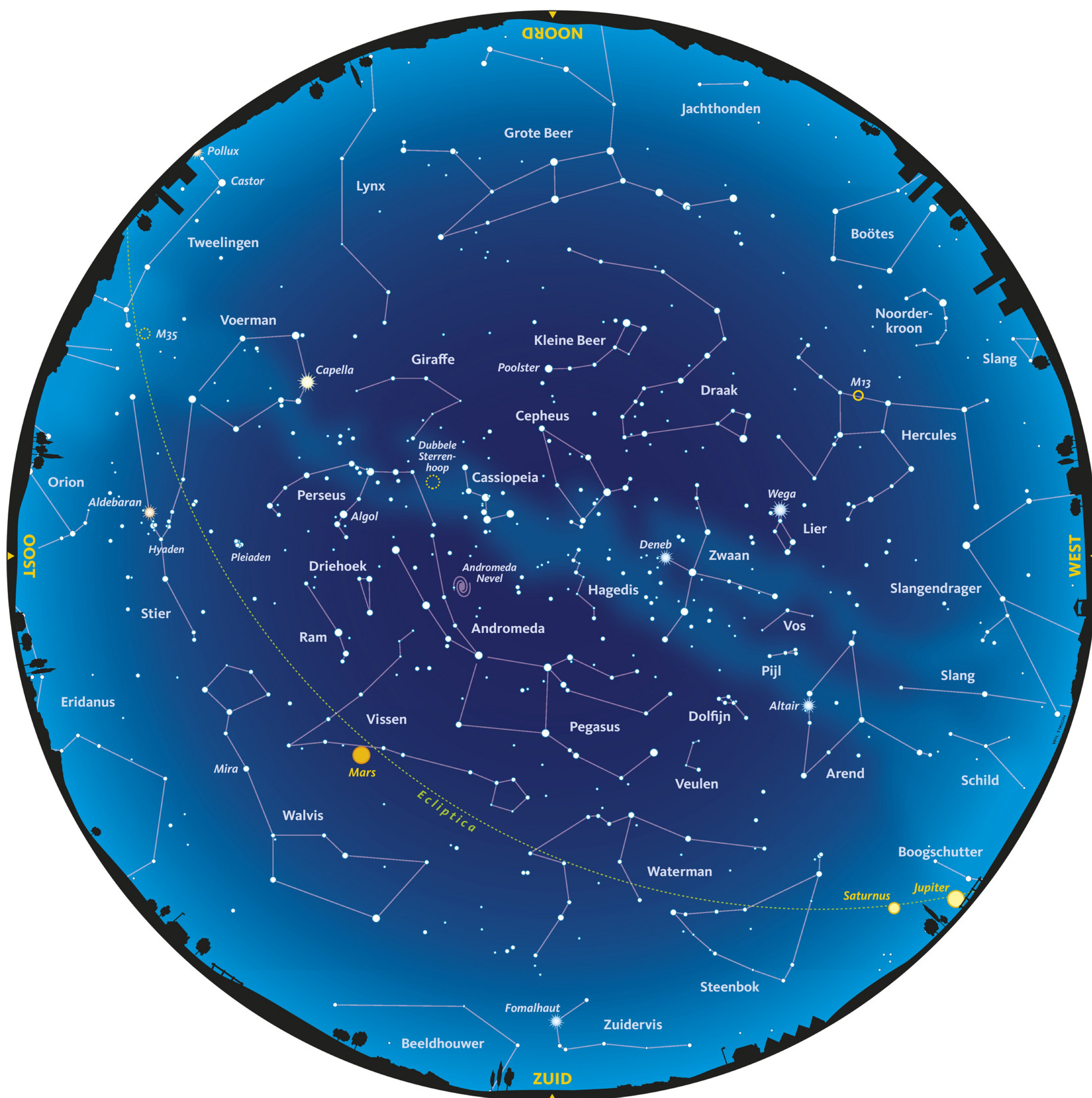
PROEF 3

Een **sterrenkaart** is een weergave van de sterrenhemel op een wolkeloze nacht (figuur 1). De sterren worden op zo'n kaart weergegeven als kleine bolletjes. Hoe helderder een ster eruitziet, des te groter is het bolletje op de kaart. Dat betekent niet dat een heldere ster ook echt een groter deel van de hemel beslaat. De grootte is alleen een manier om de helderheid weer te geven.

Een kaart zoals figuur 1 laat een momentopname zien. Hij geeft de sterrenhemel weer op één bepaald moment en vanaf één bepaalde plaats. Een uur later is zo'n kaart alweer verouderd, omdat alle sterren dan zijn opgeschoven langs de hemel. Er zijn daarom apps gemaakt die voor elk tijdstip en elke plaats een sterrenkaart op maat kunnen leveren.

De dichtstbijzijnde ster is de zon. Net als alle sterren is de zon een enorme bol gloeiend hete gassen. Het oppervlak is zo heet dat het licht en andere soorten straling uitzendt. Vergeleken met andere sterren is de zon niet bijzonder groot en ook niet bijzonder heet. Er bestaan sterren die veel meer licht en andere straling uitzenden dan de zon.

Als het echt donker is, kun je aan de hemel een band van licht zien die de **Melkweg** wordt genoemd. In figuur 1 loopt de Melkweg van linksboven naar rechtsonder over de kaart. Als je de Melkweg door een telescoop bekijkt, zie je dat hij uit talloze sterren bestaat. De sterren lijken zwak doordat ze zo ver weg staan; daardoor kun je ze met het blote oog niet afzonderlijk zien.



figuur 1 De sterrenhemel op 15 oktober 2020 om 23:00 uur, gezien vanuit Nederland.

AFSTANDEN IN LICHTJAREN

De astronomische eenheid is een eenheid binnen het zonnestelsel. Voor afstanden in het heelal hebben astronomen een andere eenheid gedefinieerd: het **lichtjaar** (lj).

Een lichtjaar is de afstand die het licht in één jaar aflegt in het vacuüm van de ruimte. Afgerond geldt:

- 1 lichtjaar = $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km (9,46 biljoen km)
- 1 lichtjaar = $63 \cdot 10^{3}$ AE (63 000 AE)

VOORBEELDOPDRACHT 1

De ster die na de zon het dichtst bij de aarde staat, heet Proxima Centauri. De afstand tussen deze ster en de aarde is 4,24 lichtjaar.
Hoe groot is de afstand tussen Proxima Centauri en de aarde in km?

gegevens de afstand tussen Proxima Centauri en de aarde is: 4,24 lj
de afgeronde waarde van 1 lj is: $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km

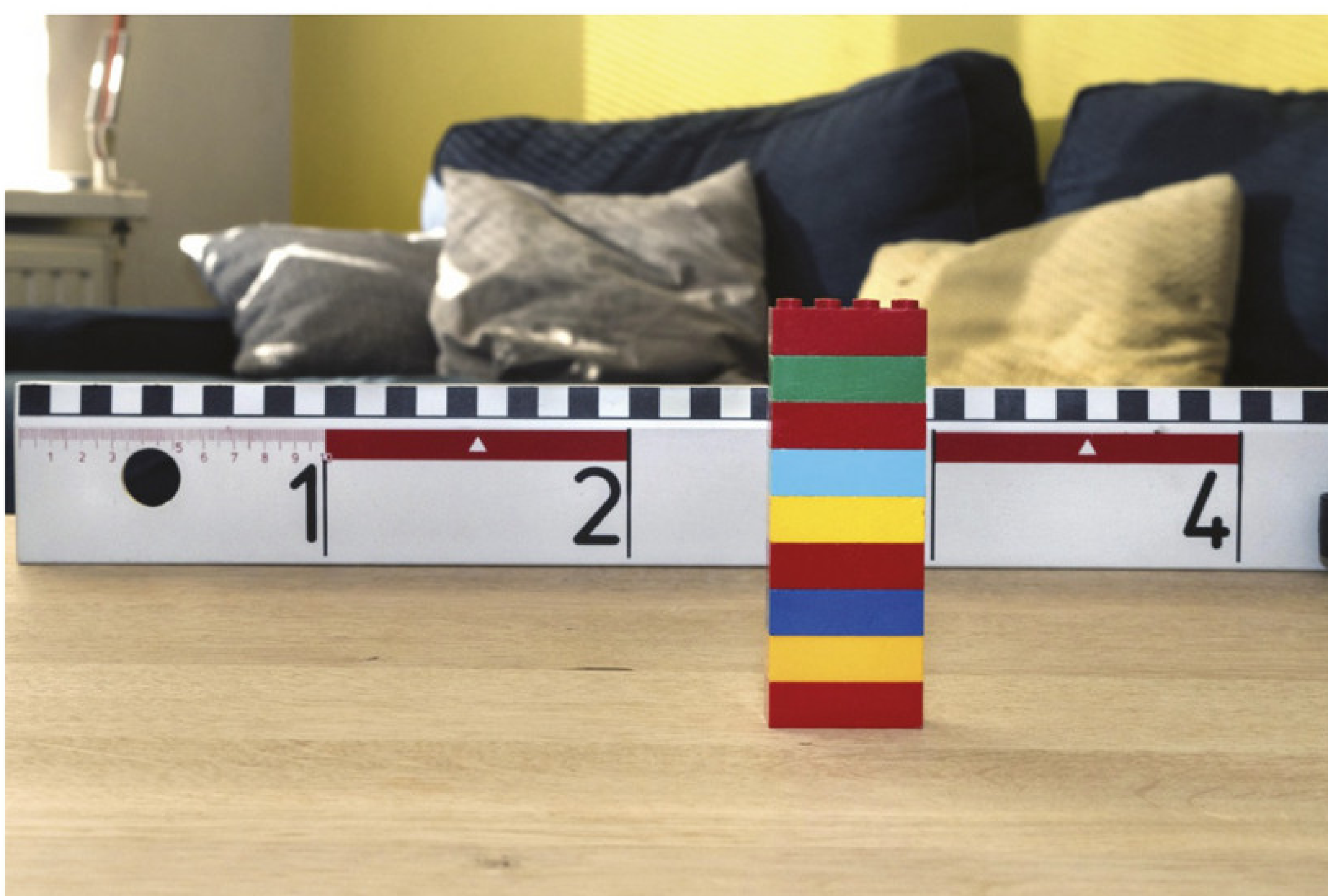
gevraagd de afstand tussen Proxima Centauri en de aarde in km

uitwerking Als 1 lj gelijk is aan $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km, dan is 4,24 lj gelijk aan:
$4{,}24 \times 9{,}46 \cdot 10^{12} = 4{,}01 \cdot 10^{13}$ km

PARALLAX

Als je alleen met je linkeroog naar een blokje kijkt, zie je dit blokje midden voor 27 cm op de liniaal staan (figuur 2a). Als je alleen met je rechteroog naar hetzelfde blokje kijkt, staat het blokje midden voor 20 cm (figuur 2b). De achtergrond is dus iets verschoven ten opzichte van het blokje. Dat zie je ook aan de bank met kussens. Dit heet parallax. **Parallax** is het verschijnsel dat als je vanuit twee verschillende plekken naar hetzelfde voorwerp kijkt, je in beide gevallen een ander stukje achtergrond achter dat voorwerp ziet.

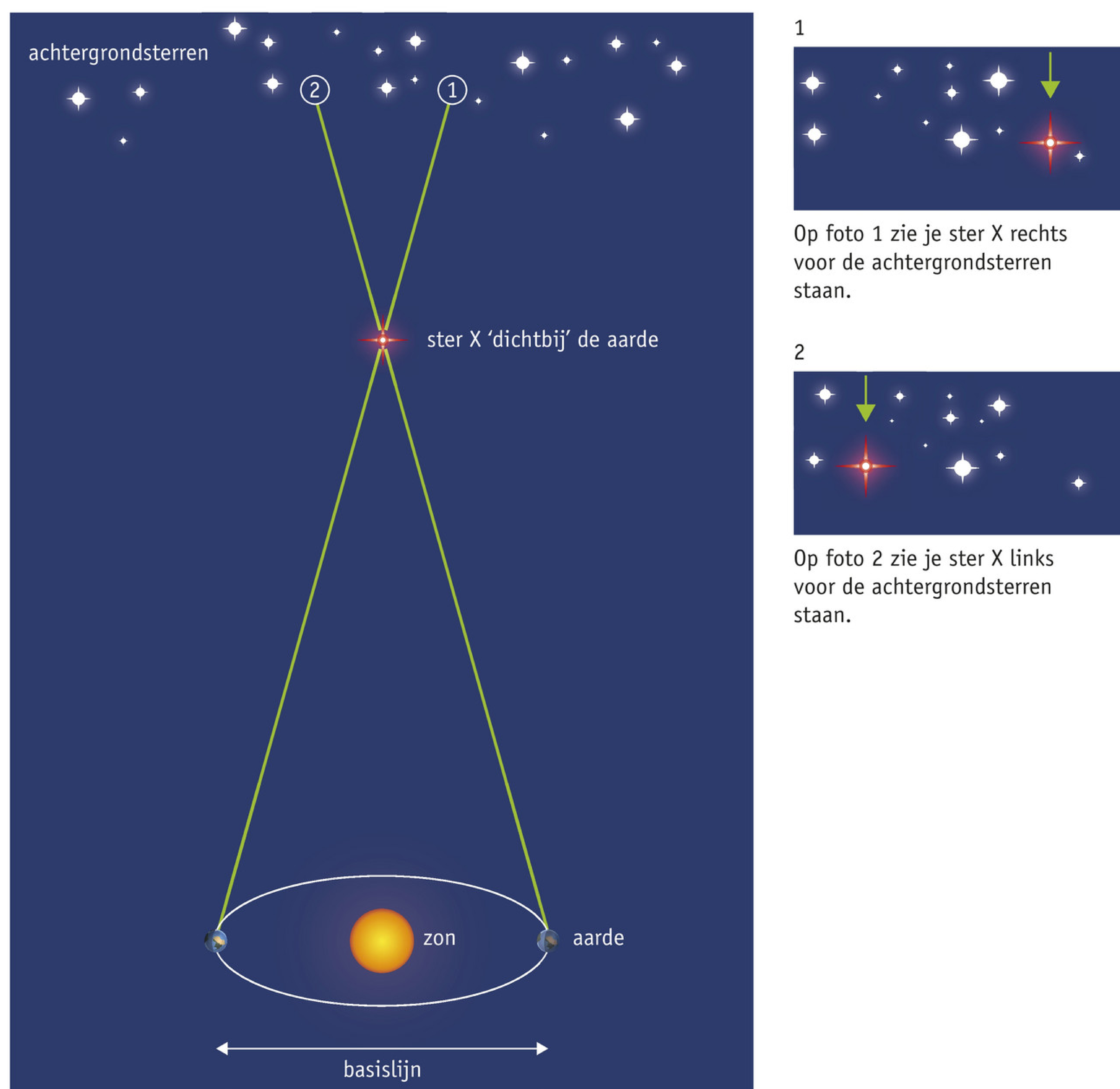
figuur 2 Het blokje bekeken met je linker- en met je rechteroog.



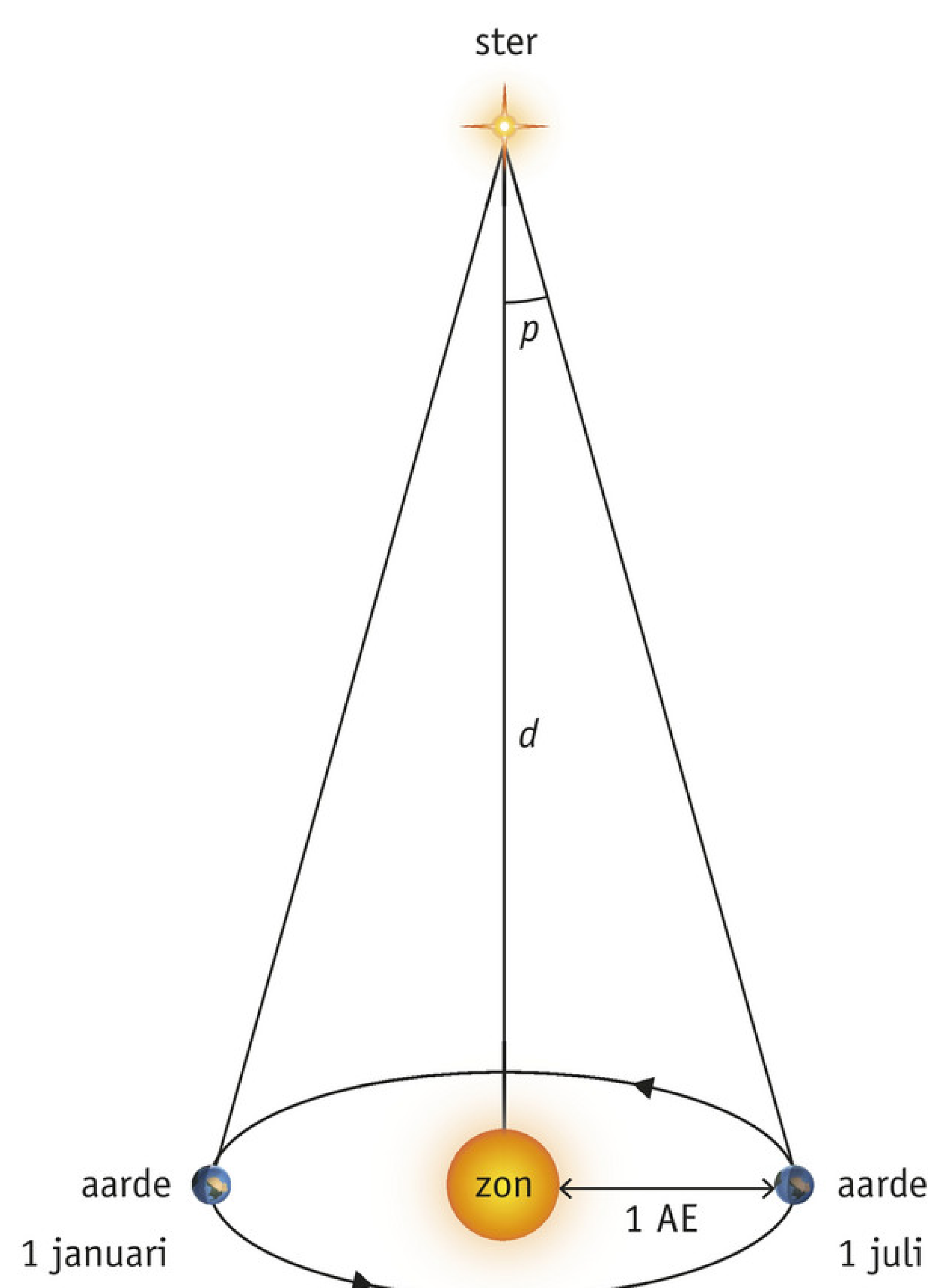


Je kunt de parallax gebruiken om de afstand van een ster tot de zon te bepalen als deze ster niet te ver weg staat van de zon. Deze afstand is te bepalen door de verschuiving van die ster vast te stellen van twee zover mogelijk van elkaar vandaan liggende posities: positie 1 is bijvoorbeeld op 1 juli (zomer), vergelijkbaar met het kijken met je linkeroog, en positie 2 dan op 1 januari (winter), vergelijkbaar met het kijken met je rechteroog. 1 januari is een halfjaar later dan 1 juli. Dan bevindt de aarde zich precies aan de andere kant van de zon en dus zie je de ster dan voor een iets andere achtergrond (figuur 3).

figuur 3 De parallax van een ster.



Die verschuiving wordt gemeten als hoek. Astronomen hebben afgesproken de halve hoek (hoek *p* in figuur 4) de parallax te noemen. Hierbij is de parallax een grootheid. De parallax is dus een verschijnsel én een grootheid.



figuur 4 Het bepalen van de afstand van een ster met de parallax.

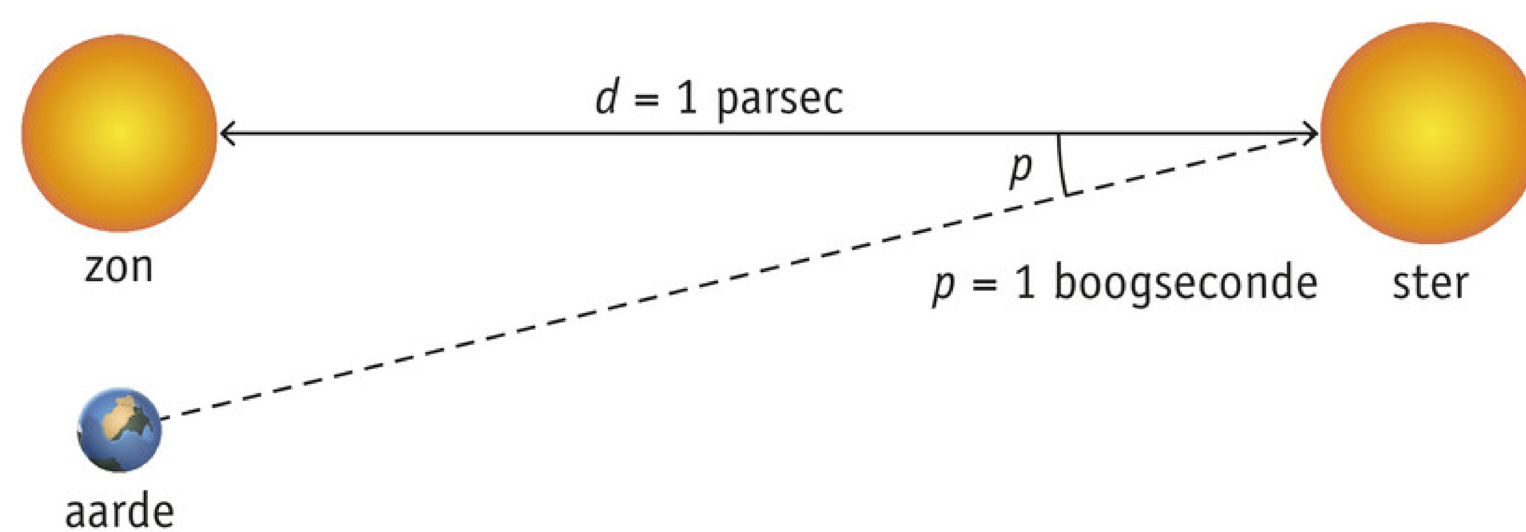
Hoeken meet je in graden (°), maar de parallax van sterren is zo klein (veel kleiner dan 1°) dat je gebruikmaakt van boogseconden. Er geldt:

1 boogminuut = 1' = $\left(\frac{1}{60}\right)^{\circ}$

1 boogseconde = 1" = $\frac{1}{60}$ boogminuut = $\left(\frac{1}{60}\right)'$ = $\left(\frac{1}{3600}\right)^{\circ}$

PARSEC

Bij de parallax wordt in de sterrenkunde vaak een andere afstandseenheid gebruikt dan astronomische eenheid of lichtjaar. Dan gebruiken sterrenkundigen de **parsec** (pc). Daarover is het volgende afgesproken: als de parallax *p* gelijk is aan 1 boogseconde, dan is de afstand van de ster tot de zon (of de aarde ,want die afstand is nagenoeg gelijk) gelijk aan 1 parsec. Dit zie je in figuur 5. Voor 1 parsec geldt: 1 pc = $3{,}09 \cdot 10^{13}$ km.



figuur 5 De parsec.

Een ster die twee keer zo ver van de zon af staat als een andere ster, heeft een twee keer zo kleine parallax. Een ster die drie keer zo ver afstaat als een andere ster, heeft een drie keer zo kleine parallax. Et cetera. Je zegt dan dat de parallax omgekeerd evenredig is met de afstand.

Je kunt de afstand van een ster tot de zon in parsec berekenen als je de parallax kent in boogseconden met de formule:

$$d = \frac{1}{p}$$

Hierin is:
- *d* de afstand in parsec (pc);
- *p* de parallax in boogseconden (").

VOORBEELDOPDRACHT 2
De parallax van de Poolster, een ster uit het sterrenbeeld Kleine Beer is 0,0075".
Bereken de afstand tot de zon in km.

gegevens p = 0,0075”
1 pc = $3{,}09 \cdot 10^{13}$ km
gevraagd $d_{\text{Poolster-zon}}$ = ? km

uitwerking $d = \frac{1}{p} = \frac{1}{0{,}0075} = 133$ pc

Dit komt overeen met 133 × $3{,}09 \cdot 10^{13}$ km = $4{,}11 \cdot 10^{15}$ km.

STERRENSTELSELS

Telescopen zijn in de loop van de tijd steeds beter geworden. Ze kunnen sterren en andere ‘objecten’ in beeld brengen die veel te zwak zijn om met het blote oog te zien (figuur 6). Ook zijn er telescopen ontwikkeld die andere vormen van straling waarnemen, zoals infrarode en ultraviolette straling. Mede dankzij deze instrumenten is er geleidelijk een nieuw beeld ontstaan van de opbouw van het heelal.



figuur 6 De twee *Keck*-telescopen op Hawaii hebben spiegels met een diameter van 10 m.

In dat nieuwe beeld maken de zon en alle zichtbare sterren deel uit van een **sterrenstelsel** (of **melkwegstelsel**): een verzameling van enkele honderden miljarden sterren, met enorme spiraalvormige armen die door de zwaartekracht bij elkaar gehouden worden. De meeste van deze sterren staan ver van de aarde. Zij vormen de Melkweg, die als een wazige band licht aan de hemel staat. Alleen de dichtstbijzijnde sterren kun je afzonderlijk zien.

Astronomen hebben ontdekt dat er nog veel meer sterrenstelsels bestaan. Het totale aantal loopt in de vele miljarden. In figuur 7 zie je een mooi voorbeeld: het sterrenstelsel M81 in het sterrenbeeld Grote Beer. Het stelsel staat verhoudingsgewijs dicht bij de aarde, op een afstand van ‘maar’ 12 miljoen lichtjaar. M81 lijkt veel op de Melkweg. De diameter van de meeste sterrenstelsels varieert tussen 3000 en 300 000 lichtjaar. Het aantal sterren in zo’n sterrenstelsel ligt tussen 100 miljoen en 100 biljoen. Het heelal bevat minstens 2 biljoen sterrenstelsels. De verst gelegen sterrenstelsels liggen op een afstand van miljarden lichtjaren. Van de enorme hoeveelheid licht die zo’n sterrenstelsel uitstraalt, bereikt maar een heel klein deel de aarde.



figuur 7 Melkwegstelsel M81. De sterren op de voorgrond horen bij ‘ons’ melkwegstelsel.



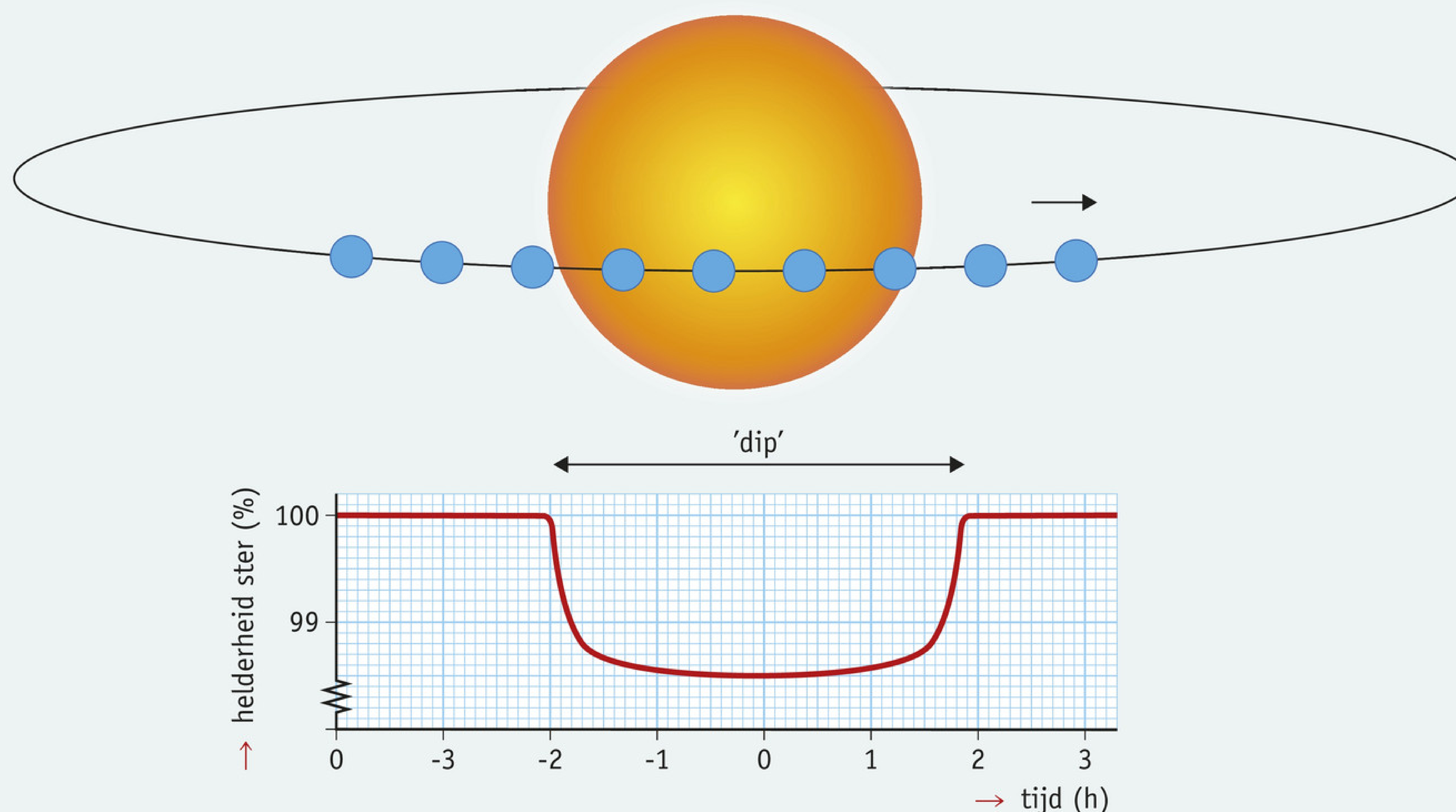
Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA EXOPLANETEN

Het zonnestelsel is niet uniek in het heelal. Er zijn veel meer sterren die een of meer planeten hebben. Planeten rond andere sterren dan de zon worden exoplaneten genoemd. Het Griekse woord *exo* betekent *buiten*; exoplaneten worden zo genoemd omdat ze zich buiten ons zonnestelsel bevinden. De eerste exoplaneet werd ontdekt in 1992. Eind 2020 waren er meer dan vierduizend exoplaneten bekend.

Astronomen kunnen exoplaneten niet rechtstreeks waarnemen. Daarvoor weerkaatst zo’n planeet niet genoeg licht naar de aarde. In plaats daarvan kijken astronomen naar het licht van de ster waar de exoplaneet omheen draait. Kleine veranderingen in dat licht kunnen de aanwezigheid verraden van een of meer exoplaneten. Er zijn verschillende methoden bedacht om zo exoplaneten op te sporen.

Bij de transitmethode registreert een telescoop de hoeveelheid licht die een ster uitstraalt. Als er een exoplaneet voor de ster langs beweegt (dat noem je een transit), ontstaat er een ‘dipje’ in de hoeveelheid licht (figuur 8). Eén omlooptijd later ontstaat er weer zo’n dipje en nog een omlooptijd later weer een. Voor astronomen vormt zo’n serie dipjes het bewijs dat er een exoplaneet rond de ster draait.



figuur 8 Als een planeet voor een ster langs beweegt, is zo'n ster tijdelijk minder helder.

1 Vul in.

a Een ster is een enorme bol gloeiend hete .... Het oppervlak is zo heet dat het licht en andere soorten .... uitzendt.

b Als een ster relatief niet te ver van de aarde staat, kunnen astronomen de afstand bepalen met behulp van de ....

c Een ster die twee keer zo ver weg staat van de aarde heeft een twee keer zo .... parallax.

d Een .... is (afgerond) gelijk aan 9,46 biljoen km; dat is de .... die het licht in 1 jaar aflegt in het vacuüm van de ruimte.

e Het sterrenstelsel (of ....) waar het zonnestelsel deel van uitmaakt, bestaat uit enkele honderden .... sterren.

2 Geef van elke uitspraak aan of hij waar of onwaar is.

a De zon is een ster die veel dichter bij de aarde staat dan de andere sterren. *waar / onwaar*

b De zon is vergeleken met de meeste andere sterren bijzonder groot en heet. *waar / onwaar*

c De Melkweg is een sterrenbeeld met verschillende opvallend heldere sterren. *waar / onwaar*

d De AE is geen geschikte eenheid voor de afstanden tussen sterrenstelsels. *waar / onwaar*

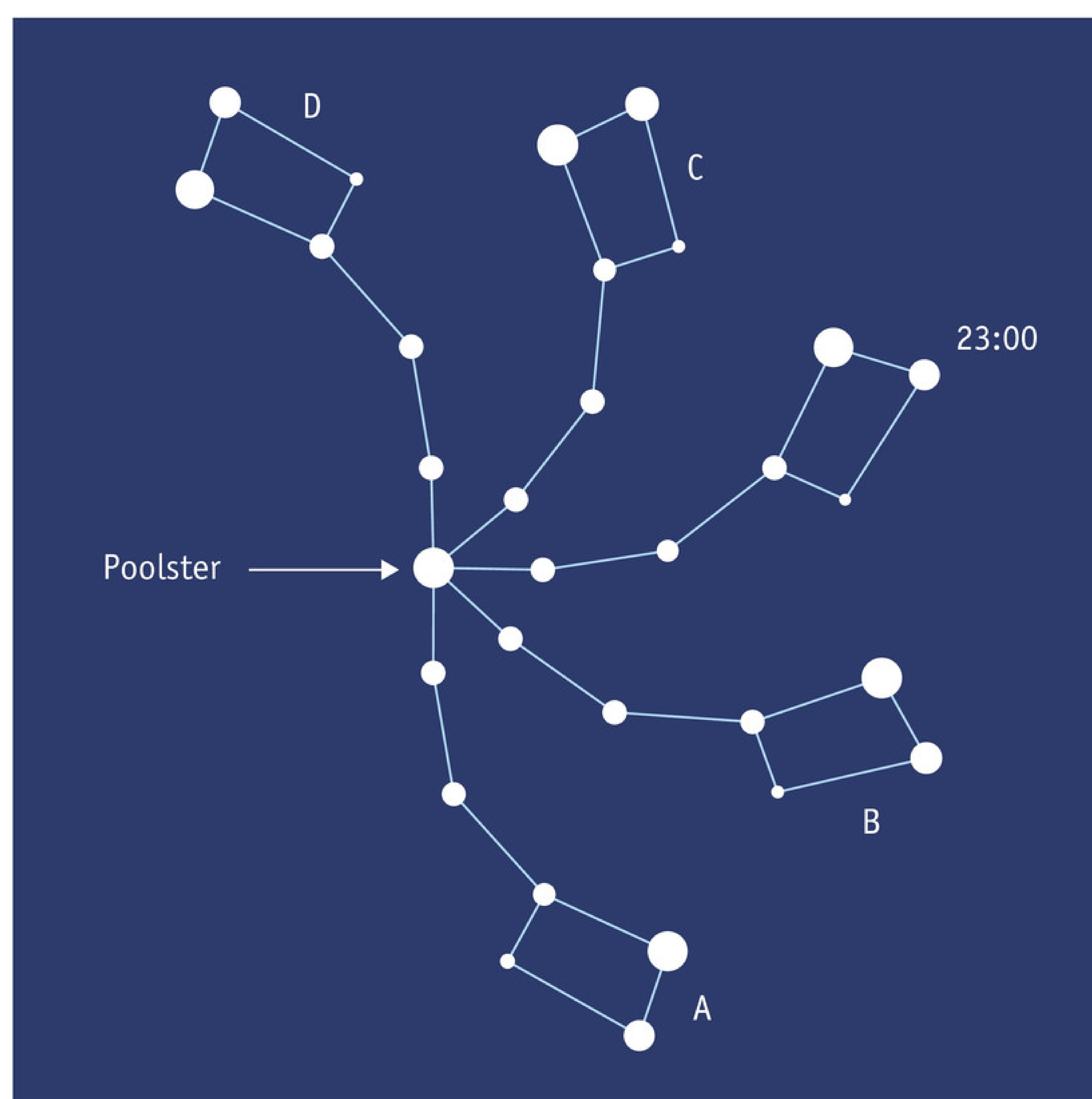
e 12 miljoen lichtjaar is voor een sterrenstelsel 'verhoudingsgewijs dichtbij'. *waar / onwaar*

3 Bekijk figuur 1.

a In welk sterrenbeeld stond de planeet Mars op het afgebeelde tijdstip?
b Welke planeet staat op het punt om in het zuidwesten onder te gaan?
c Welk sterrenbeeld van de dierenriem is in het noordoosten bezig op te komen?
d In welke richting is het sterrenbeeld Grote Beer te vinden volgens de kaart?
e Hoe noem je de band van licht die van noordoost naar zuidwest loopt?

★ 4 In figuur 9 is het sterrenbeeld Kleine Beer getekend, zoals dat op 15 oktober 2020 23:00 uur aan de hemel stond. Vergelijk figuur 9 met figuur 1. In figuur 9 zijn nog vier andere posities (A tot en met D) aangegeven.

a Op welke positie stond de Kleine Beer op 16 oktober 2020 om 02:00 uur?
b Noteer de tijdstippen die bij de overige drie posities horen.



figuur 9 Hoe draait de Kleine Beer?

5 In figuur 3 hebben astronomen ster X twee keer gefotografeerd: op 1 januari en op 1 juli, dus een halfjaar later. Ze meten daarna op de foto's hoe ver de ster verschoven is ten opzichte van 'achtergrondsterren' die ook op de foto staan. Zo bepalen ze het verschil tussen de twee hoeken waaronder de ster aan de hemel staat.

a Hoe groot is de afstand tussen de aarde op 1 januari en de aarde op 1 juli (in AE en in km)?
b Hoe komt het dat de 'achtergrondsterren' op de foto's niet verschoven lijken te zijn?
c Stel dat ster X over een grotere hoek verschoven is dan ster Y.
Wat kun je daaruit concluderen over hun afstand tot de aarde?

6 In figuur 10 zie je twee afbeeldingen van een klein deel van de sterrenhemel. De afbeeldingen zijn genomen met een tussenpoos van een halfjaar. Het stukje hemel op de afbeeldingen meet 1,5 bij 1,5 boogseconde. De eenheid boogseconde gelijk aan $\frac{1}{3600}$ van een graad. (Als je de afstand tussen twee graadstrepen op je geodriehoek verdeelt in 3600 gelijke stukjes, is elk stukje 1 boogseconde.)

a Waaraan kun je zien dat op beide afbeeldingen hetzelfde stukje hemel te zien is?

b Je gaat nu eerst de schaal van de afbeeldingen bepalen. Vul in.

Elke afbeelding meet .... bij .... cm.

Een afstand van .... cm komt dus overeen met een hoek van 1,5 boogseconde.

Dat betekent dat een afstand van 1 cm overeenkomt met .... boogseconde.

c Meet hoe ver de rode ster rechtsonder in een halfjaar tijd verschoven is. Vul in.

De ster is in de rechter afbeelding .... cm verschoven vergeleken met de linker afbeelding.

d Reken de verschuiving om naar boogseconden (met de schaal van opdracht 6b). Vul in.
De verschuiving van de ster is

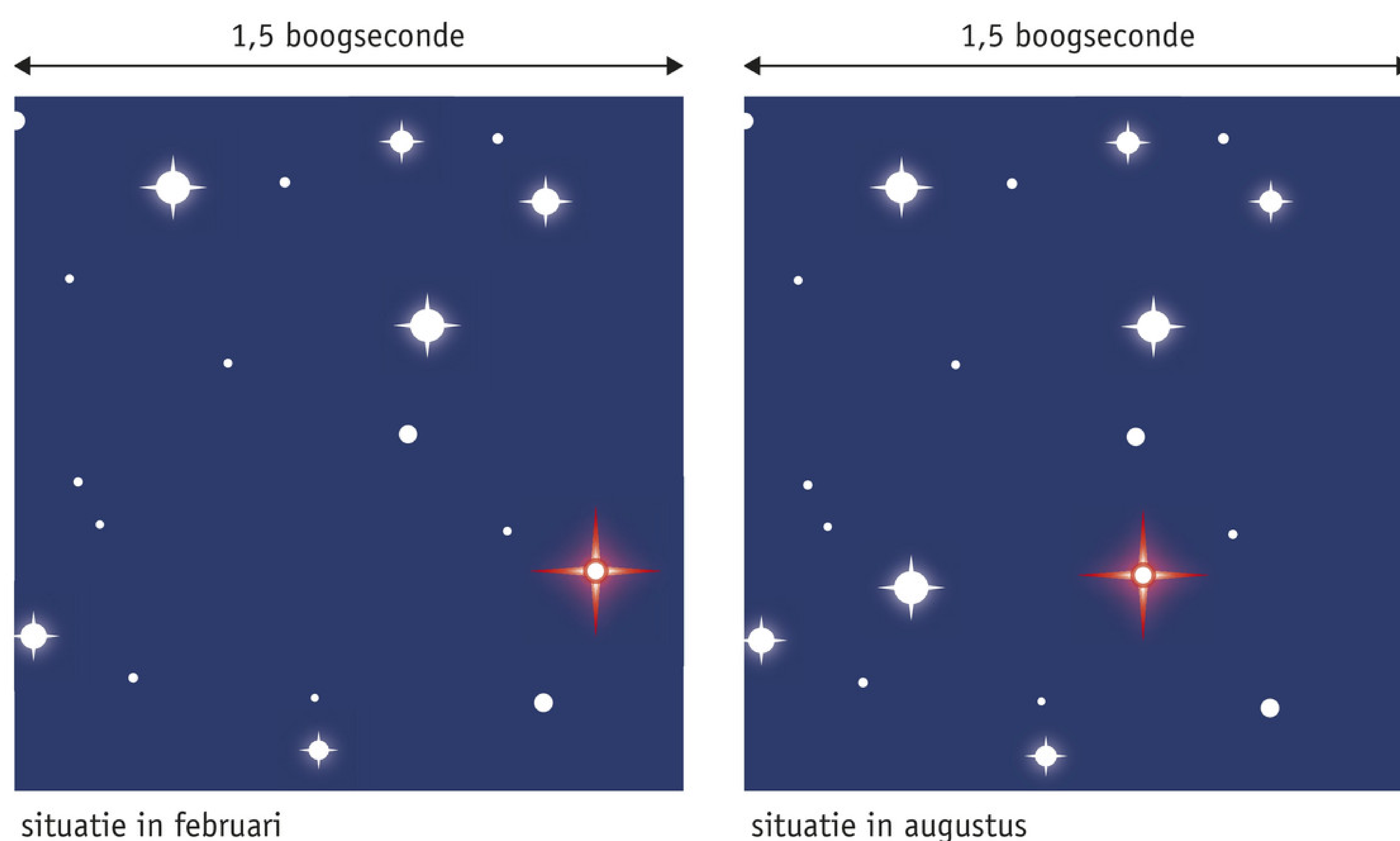
omgerekend: .... boogseconden.

e Je kunt de afstand in lichtjaar nu berekenen met de rekenregel:

$$\text{afstand in lichtjaar} = \frac{6,52}{\text{verschuiving in boogseconden}}$$

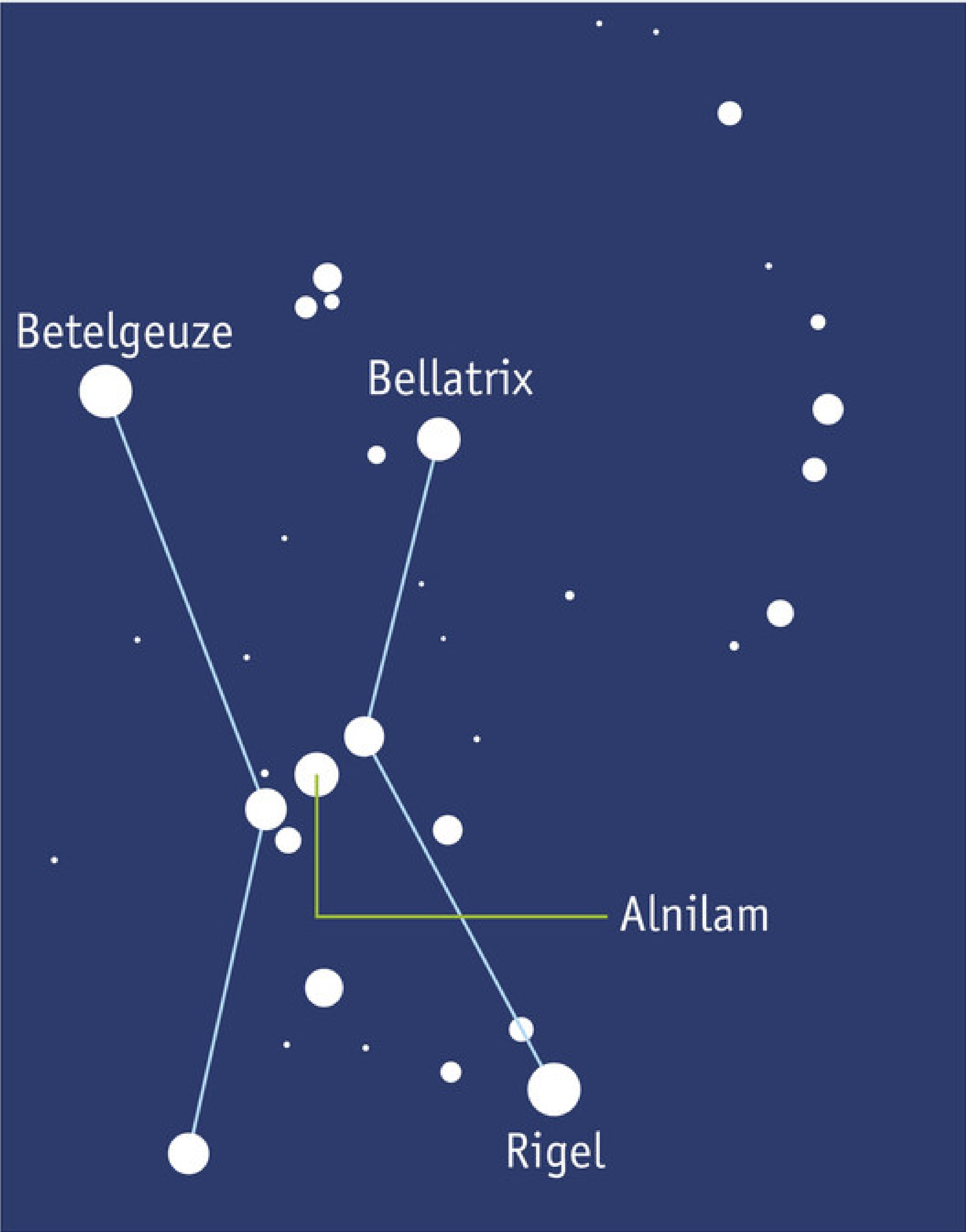
Schrijf de hele berekening op.

figuur 10 Twee afbeeldingen van hetzelfde stukje sterrenhemel, zes maanden na elkaar.



7 In figuur 11 zie je het sterrenbeeld Orion, met de namen van de vier helderste sterren: Rigel, Betelgeuze, Bellatrix en Alnilam. Astrid leest op een website over astronomie dat astronomen de afstand tot deze sterren onlangs opnieuw hebben berekend. In tabel 1 staan de nieuwe waarden.
Laat zien dat de volgende beweringen kloppen met de gegevens in tabel 1.

a Rigel staat op $8{,}2 \cdot 10^{15}$ km van de aarde.
b Betelgeuze is 31 miljoen AE van de aarde verwijderd.
c Alnilam lijkt even helder als Bellatrix, maar straalt in werkelijkheid veel meer licht uit.
d De sterren van een sterrenbeeld horen niet echt bij elkaar; dat lijkt alleen maar zo.



figuur 11 Het sterrenbeeld Orion.

tabel 1 Gegevens van de vier helderste sterren van Orion.

ster	afstand tot de aarde (lj)
Rigel	863
Betelgeuze	498
Bellatrix	252
Alnilam	1976

8 In opdracht 8 van paragraaf 2 zetten Aysha en Simone een model van het zonnestelsel uit op een voetbalveld. Daarbij namen ze voor 1 AE een afstand van 10 m. Nu vragen ze zich af of ze Proxima Centauri ook een plekje in hun model kunnen geven.

a Op welke afstand ligt Proxima Centauri van de aarde (in lichtjaar)?
b Reken deze afstand om van lj naar AE.
c Aysha en Simone gebruiken een softbal om de zon op schaal weer te geven. Voor Proxima Centauri zouden ze een knikker kunnen gebruiken; deze ster is veel kleiner dan de zon.
Op welke afstand van de softbal moeten ze die knikker dan neerleggen? Schrijf de hele berekening op.

9 Een lichtjaar is $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km. Een jaar bestaat uit 365 dagen.

a Bereken met deze gegevens de snelheid van het licht in m/s.
b Behalve het lichtjaar bestaat ook de lichtminuut.
Wat wordt met een lichtminuut bedoeld?
c Bereken op twee manieren hoeveel km een lichtminuut is.

10 Om extreem grote afstanden in het heelal aan te duiden kun je de parsec (pc) gebruiken.

a Hoeveel AE is 1 pc?
b Alfa Centauri is de helderste ster van het sterrenbeeld Centaurus. Alfa Centauri staat op 273 210 AE van de zon.
Reken deze afstand om naar parsec.

11 De ster Sirius A heeft een parallax van 0,379".

a Bereken de afstand van Sirius A tot de zon in pc, km, AE en lj.

b De ster Becrux staat op 278,5 lj van de aarde.
Bereken de parallax van Becrux.

b De ster 61 Virginis staat tien keer zo dicht bij de zon als Becrux.
Beredeneer hoe groot de parallax van 61 Virginis is.

★ **12** Je kunt op internet prachtige foto's van sterrenstelsels vinden. Gebruik bijvoorbeeld de zoekwoorden: *NASA – galaxy – Hubble*. Let erop dat je een echte astronomische foto nodig hebt en geen *artist's impression* of een collage van verschillende afbeeldingen. Zoek zo een sterrenstelsel uit om er meer informatie over te verzamelen. Bijvoorbeeld:

- Waar staat het sterrenstelsel aan de hemel?
- Wat voor soort sterrenstelsel is het?
- Hoe ver staat het stelsel van de aarde?
- Hoe groot is de doorsnede (in lichtjaar)?
- Hoe beweegt het stelsel ten opzichte van de aarde?
- Wat maakt het sterrenstelsel bijzonder of opvallend?

Verwerk je bevindingen tot een kort werkstuk van twee pagina's A4, met afbeeldingen.



Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA EXOPLANETEN

13 De ruimtetelescoop *Kepler* was actief van 2009 tot 2018. De telescoop zocht naar exoplaneten door systematisch de helderheid van zo'n half miljoen sterren te meten. De gegevens werden verwerkt tot lichtkrommen, waarin de helderheid van een ster werd uitgezet tegen de tijd.
Bekijk de lichtkromme van de ster HAT-P-7 in figuur 12.

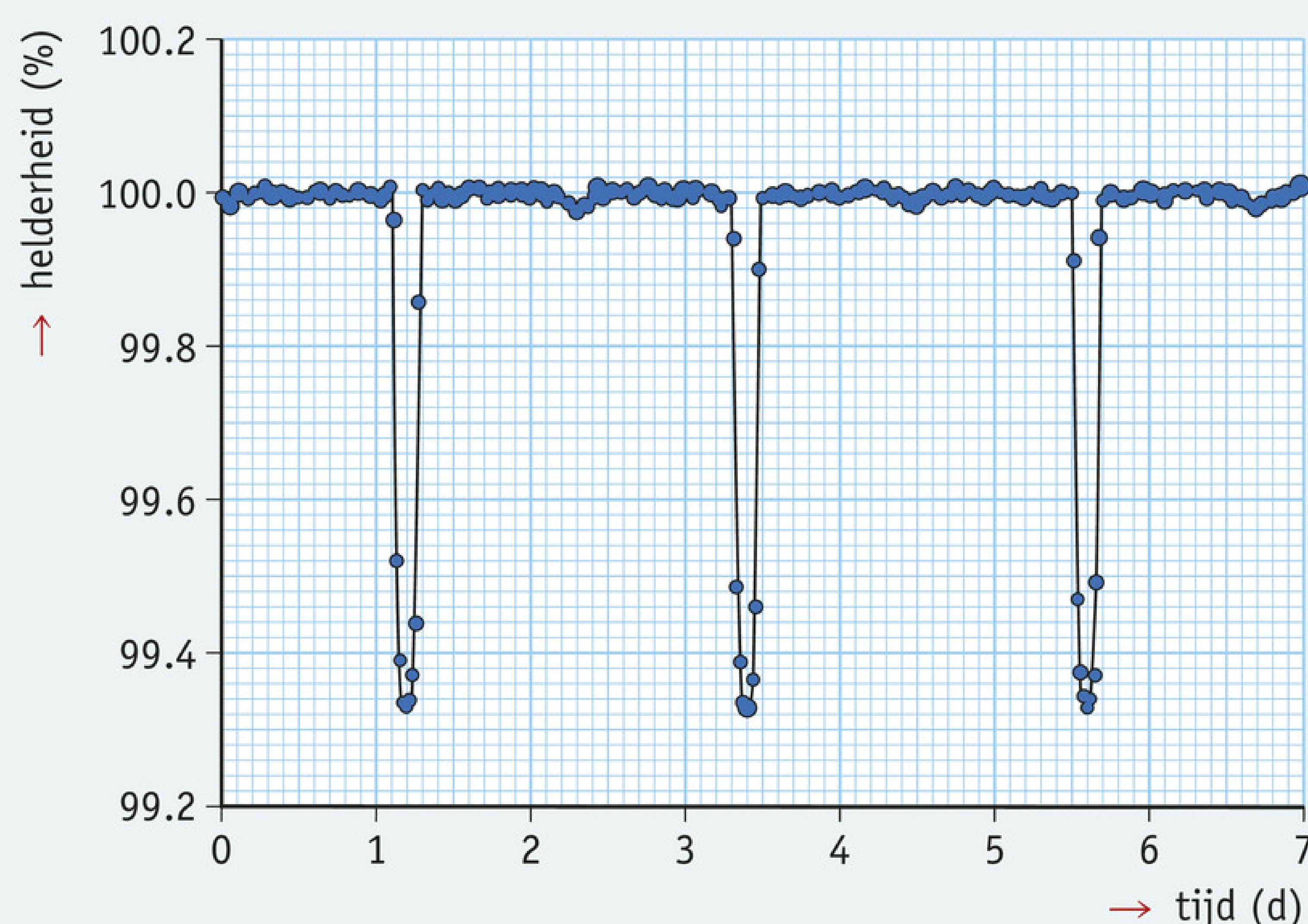
a Waaraan zie je dat er met regelmatige tussenpozen een planeet voor de ster langs beweegt?

b Hoe groot is de afname van de hoeveelheid licht die de ster uitzendt (in procenten)?

c Waaraan kun je zien dat de planeet maar klein is vergeleken met de ster waar hij omheen draait?

d Lees uit de lichtkromme af hoe groot de omlooptijd van deze planeet is.

e Wat kun je uit de omlooptijd opmaken over de afstand tussen de exoplaneet en de ster waar hij omheen draait?



figuur 12 De lichtkromme van ster HAT-P-7.

14 De transitmethode werkt alleen als je vanaf de aarde ‘recht van opzij’ tegen de baan van een planeet aankijkt. Planeten waarvan je de baan onder een andere hoek ziet, kun je op deze manier niet vinden.
Leg met een tekening uit waarom je bij zo’n planeet geen ‘dip’ in het sterlicht ziet.

15 De ruimtetelescoop *Kepler* heeft planeten gevonden in allerlei groottes, van iets kleiner dan de aarde tot nog groter dan Jupiter. Maar astronomen gaan ervan uit dat *Kepler* kleinere planeten, met de grootte van Mars of Mercurius, vaak over het hoofd gezien heeft.
Leg uit waarom een kleine planeet zoals Mars moeilijker te vinden is dan een grotere planeet.

Practica

PROEF 1 EEN ZONNEWIJZER MAKEN

100 minuten

Inleiding
Mensen meten al heel lang de tijd door naar de stand van de zon en de maan te kijken. De gregoriaanse kalender, die tegenwoordig over de hele wereld gebruikt wordt, is gebaseerd op de stand van de zon. De islamitische en de joodse kalender gaan uit van de fasen van de maan.
Je kunt de stand van de zon ook gebruiken om te bepalen hoe laat het overdag is. Daarvoor zijn verschillende soorten zonnewijzers bedacht (figuur 1). In deze proef leer je daar meer over.



figuur 1 Een van de drie soorten zonnewijzers.

Doel
Bij deze proef onderzoek je eerst welke soorten zonnewijzers er zijn. Daarna kies je één soort zonnewijzer uit om zelf te maken.

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke spullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
Vooraf
- Zoek op internet informatie over verschillende soorten zonnewijzers en hoe je die zelf kunt bouwen. Een geschikte zoekwoordencombinatie is: *zonnewijzer zelf bouwen.*
  Zoek een antwoord op de volgende vragen:
  – Wat zijn de drie meest gebruikte soorten zonnewijzers?
  – Uit welke onderdelen is elk soort zonnewijzer opgebouwd?
  – In welke richting moet de zonnewijzer opgesteld worden?
  – Onder welke hoek moet je de ‘schaduwgever’ aanbrengen?
  – Wat is een ‘tijdvereffeningstabel’ en hoe gebruik je dit hulpmiddel?
  Verwerk de antwoorden tot een kort verslag (circa twee pagina’s A4).
- De verslagen worden in de les besproken. Controleer de informatie die je hebt verzameld en breng indien nodig verbeteringen aan.

Een zonnewijzer bouwen

- Kies één van de verschillende soorten zonnewijzers uit om zelf te bouwen. Maak een praktisch ontwerp dat je eenvoudig zelf kunt realiseren. Het mag mooi, maar dat hoeft niet.
- Zoek een geschikte plaats voor je zonnewijzer en stel hem zorgvuldig in de juiste richting op.
- Lees de tijd drie keer af, op verschillende momenten van de dag. Gebruik de tijdvereffeningstabel om de juiste tijd te vinden. Zoek tegelijk ook het officiële tijdstip op (aflezen op je telefoon).

1 Noteer in tabel 1 voor elke waarneming: (1) het tijdstip zoals je dat hebt afgelezen (zonder correctie); (2) het tijdstip na correctie met de tijdvereffeningstabel; (3) het officiële tijdstip.

tabel 1 Drie tijdwaarnemingen.

waarneming	afgelezen tijdstip (zonder correctie)	afgelezen tijdstip (met correctie)	officiële tijdstip
1			
2			
3			

2 Vergelijk de tijdstippen die je zo hebt gevonden.
Wat is je conclusie: hoe nauwkeurig kun je de tijd bepalen met jouw zonnewijzer?

....

....

....

PROEF 2 EEN MODEL MAKEN VAN HET ZONNESTELSEL

20 minuten

Inleiding

De afstanden in het zonnestelsel zijn groot. Het is moeilijk om je voor te stellen hoe ver de planeten van de zon (en van elkaar) verwijderd zijn. Een goede manier om toch een beeld te krijgen, is het maken van een schaalmodel.

Doel

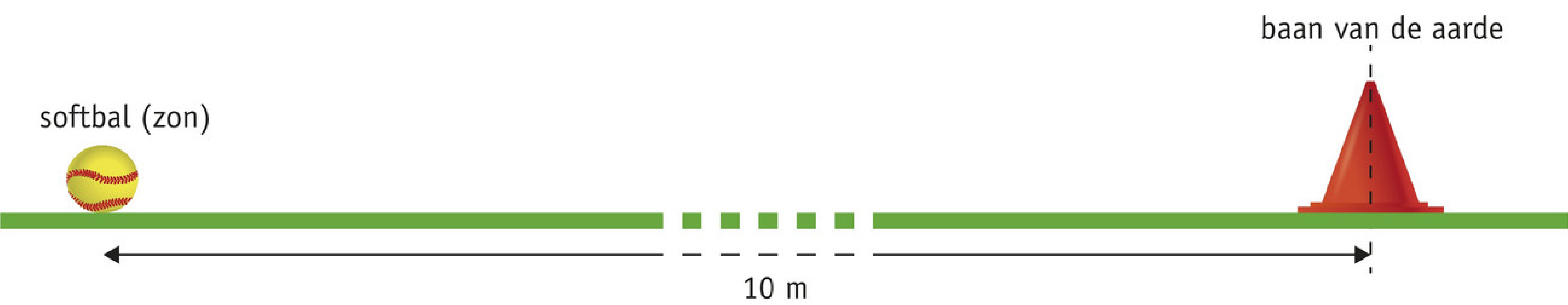
In deze proef maak je een model van het zonnestelsel. In dit model geef je de afstanden tussen de zon en de planeten weer op schaal 1 : 15 000 000 000. Anders gezegd: 1 m in het model staat voor 0,1 AE ($15 \cdot 10^6$ km) in werkelijkheid.

Nodig

- ☐ grote open ruimte (sportveld, schoolplein, grasveld)
- ☐ softbal
- ☐ 6 pionnen
- ☐ meetlint (1 m)
- ☐ touw (10 m)

Uitvoeren en uitwerken

- Om de verschillende afstanden af te meten, gebruik je een touw van 10 m waarin je om de meter een knoop in legt.
- De softbal stelt de zon voor, op de schaal van jouw model. Leg hem neer aan de rand van het sportveld/schoolplein/grasveld.
- De aarde beweegt in een baan op 1 AE van de zon. In jouw model is dat 10 m. Meet deze afstand af. Markeer de baan van de aarde met een pion (figuur 2).



figuur 2 De zon en baan van de aarde in het model van het zonnestelsel.

1 Bereken hoe groot je de afstand moeten maken in je model tussen de overige planeten en de zon. Noteer de uitkomsten in tabel 2.

tabel 2 Baangegevens van de planeten.

planeet	gemiddelde afstand tot de zon (AE)	afstanden in jouw schaalmodel m)
Mercurius	0,39	
Venus	0,73	
aarde	1,0	10
Mars	1,5	
Jupiter	5,2	
Saturnus	9,5	
Uranus	19	
Neptunus	30	

- Meet de afstanden af waarop de planeten Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus rond de zon bewegen. Zet telkens een pion neer om de baan van de planeet te markeren.

Verslag

- Maak een filmpje met je telefoon, waarin je het model presenteert. Begin bij de softbal die de zon voorstelt. Ga dan naar Mercurius, vervolgens naar Venus enzovoort. Vertel of laat met een bordje zien welke pion welke planeet voorstelt.
- Leg in je filmpje ten slotte uit waar de baan van Uranus en Neptunus (ongeveer) zou lopen als je die twee planeten ook in je model had opgenomen.

PROEF 3 WERKEN MET EEN STERRENKAART

20 minuten

Inleiding

Om sterren, planeten en andere hemellichamen te vinden, is een sterrenkaart onmisbaar. Er zijn apps en websites die voor elk tijdstip en elke plaats een sterrenkaart op maat leveren. Bij deze opdracht maak je kennis met Stellarium, een gratis online sterrenkaart voor op je telefoon of computer.

Doel

In deze proef leer je om sterren, sterrenbeelden en planeten aan de hemel te vinden met behulp van een online sterrenkaart.

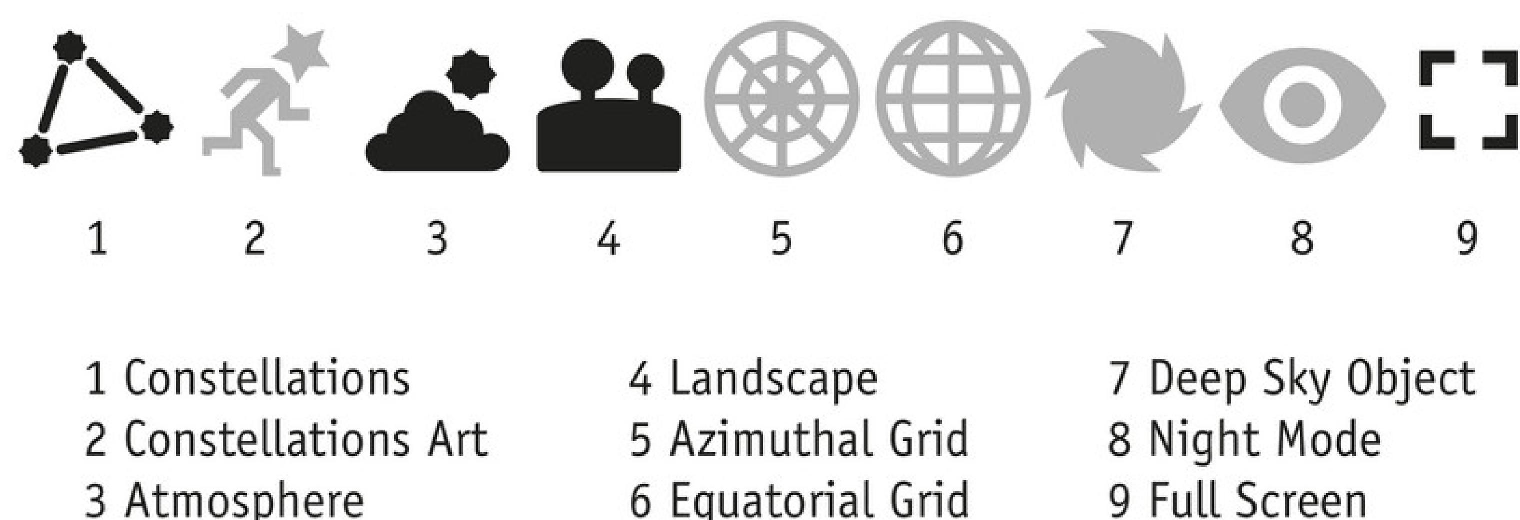
Nodig

☐ computer, tablet of telefoon

Uitvoeren en uitwerken

Voorbereiden

- Start de browser op je computer of tablet. Ga naar de website https://stellarium-web.org.
- Kies voor **Locatietoegang toestaan** als Stellarium daarom vraagt.
- Klik linksboven op **View Settings**. Vink alle vakjes aan behalve **Meridian Line**.
- Midden onderaan je scherm staat een menu met negen symbolen (figuur 3).
- Zet de symbolen 1, 3, 4 en 9 op aan (= wit) en de overige symbolen op uit (= grijs).
- Klik op het vakje met de datum en tijd, rechts onder op je scherm. Stel de datum in op 21 maart 2023 (2023-03-21) en de tijd op 20:00:00.
- Klik op de pauzetoets II om de klok te stoppen.
- Versleep de kaart tot je recht naar het zuiden (S) kijkt.



figuur 3 Keuzemenu in Stellarium.

1 Welke sterrenbeelden van de dierenriem staan op dit moment aan de hemel (van oost naar west)? Gebruik de lijst met vertalingen in figuur 4. Tip: kijk in buurt van de ecliptica.

....

....

figuur 4 Sterrenbeelden.

De namen van de sterrenbeelden

Hieronder vind je de namen van de sterrenbeelden in het Latijn en het Nederlands. In Stellarium worden de Latijnse namen gebruikt, zoals meestal in het Engelse taalgebied.

Aries – Ram
Taurus – Stier
Gemini – Tweelingen
Cancer – Kreeft
Leo – Leeuw
Virgo – Maagd
Libra – Weegschaal
Scorpius – Schorpioen
Sagittarius – Boogschutter
Capricorn – Steenbok
Aquarius – Waterman
Pisces – Vissen

2 Welke vier planeten zijn er op dit moment aan de hemel te zien (van oost naar west)?

....

3 Tussen welke twee sterrenbeelden van de dierenriem staat Mars op dit moment?

....

4 In welke windrichting moet je kijken om Venus aan de hemel te vinden?

....

5 Is het sterrenbeeld Orion op dit moment ook te zien, en zo ja, waar?

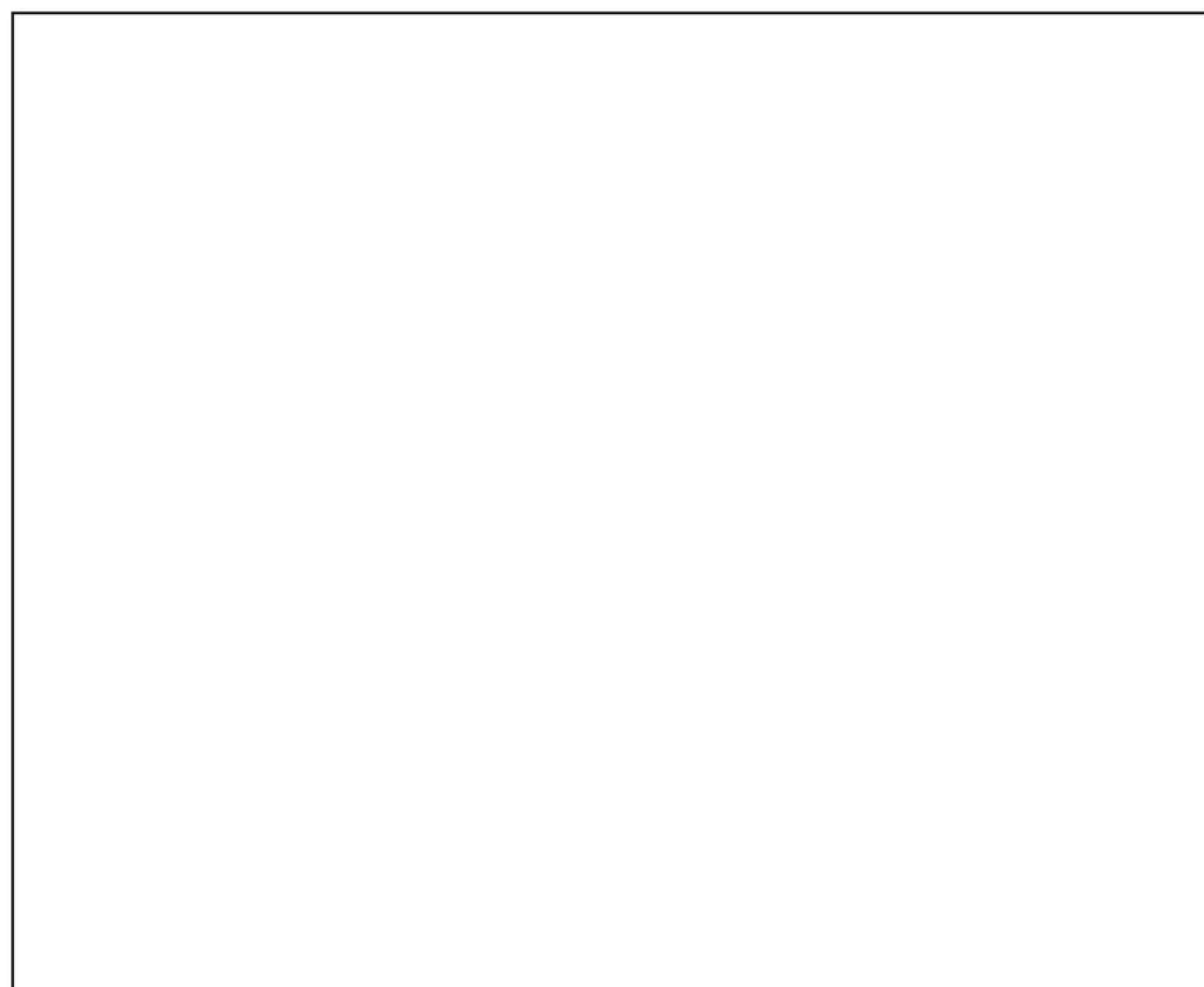
....

- Versleep de kaart tot je recht naar het noorden (N) kijkt.

6 Klik op de Poolster in het sterrenbeeld Kleine Beer.
Welke naam heeft deze ster in Stellarium?

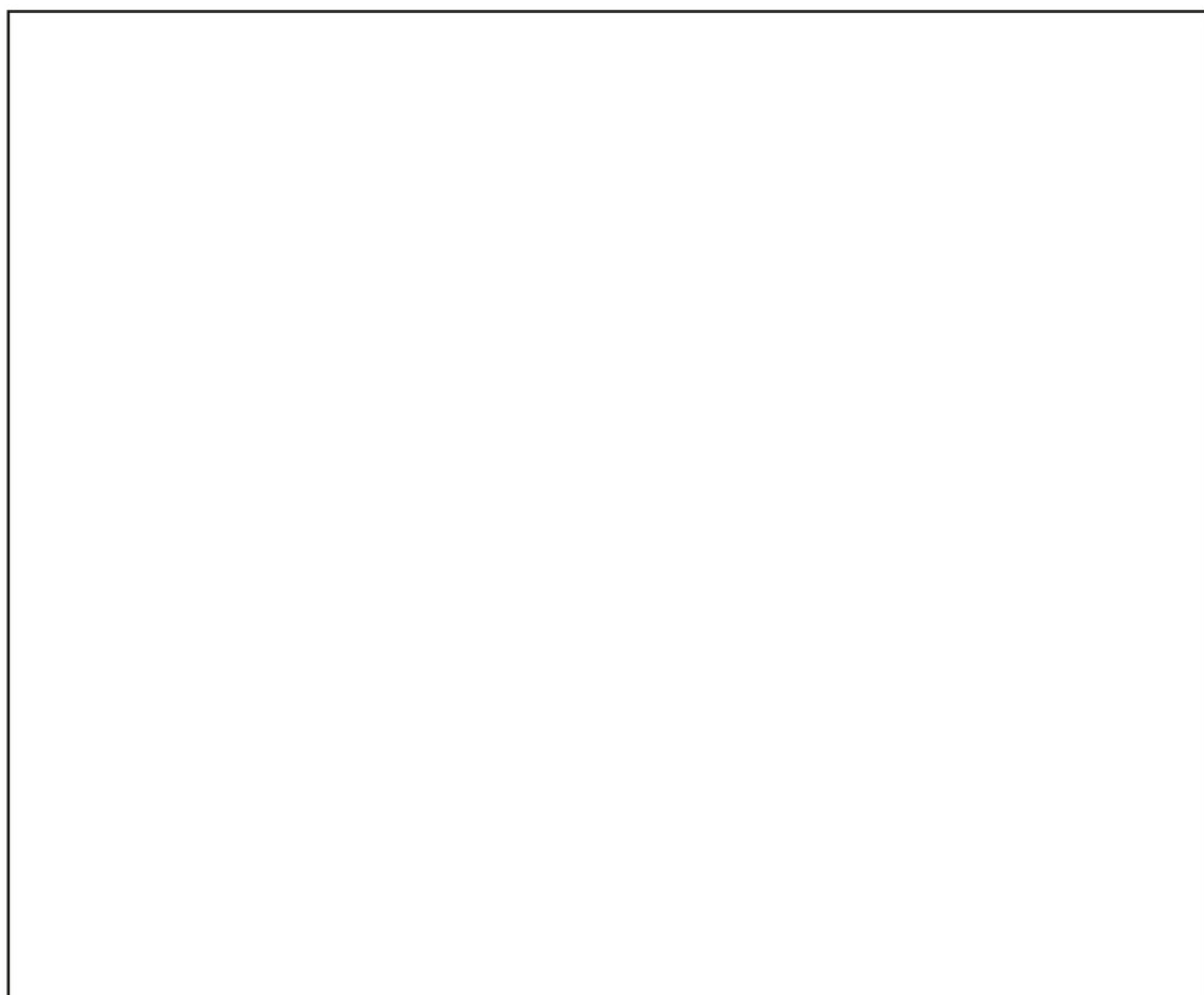
....

7 Teken hoe je de Kleine Beer op dit moment aan de hemel ziet staan.



- Klik op het vakje met de datum en tijd, rechts onder op je scherm. Gebruik het pijltje boven het aantal uren om verder te klikken naar 02:00:00. De datum verandert ondertussen in 22 maart 2023 (2023-03-22).

8 Teken hoe je de Kleine Beer nu, om 02:00 uur aan de hemel ziet staan.



- Versleep de kaart tot je weer recht naar het zuiden (S) kijkt.

9 Welke sterrenbeelden van de dierenriem zijn in de afgelopen zes uren opgekomen?

....

....

10 Welke planeten zijn tussen 20:00 en 02:00 uur in het westen ondergegaan?

....

11 Hoe is de positie van Mars in de afgelopen zes uur veranderd?

....

....

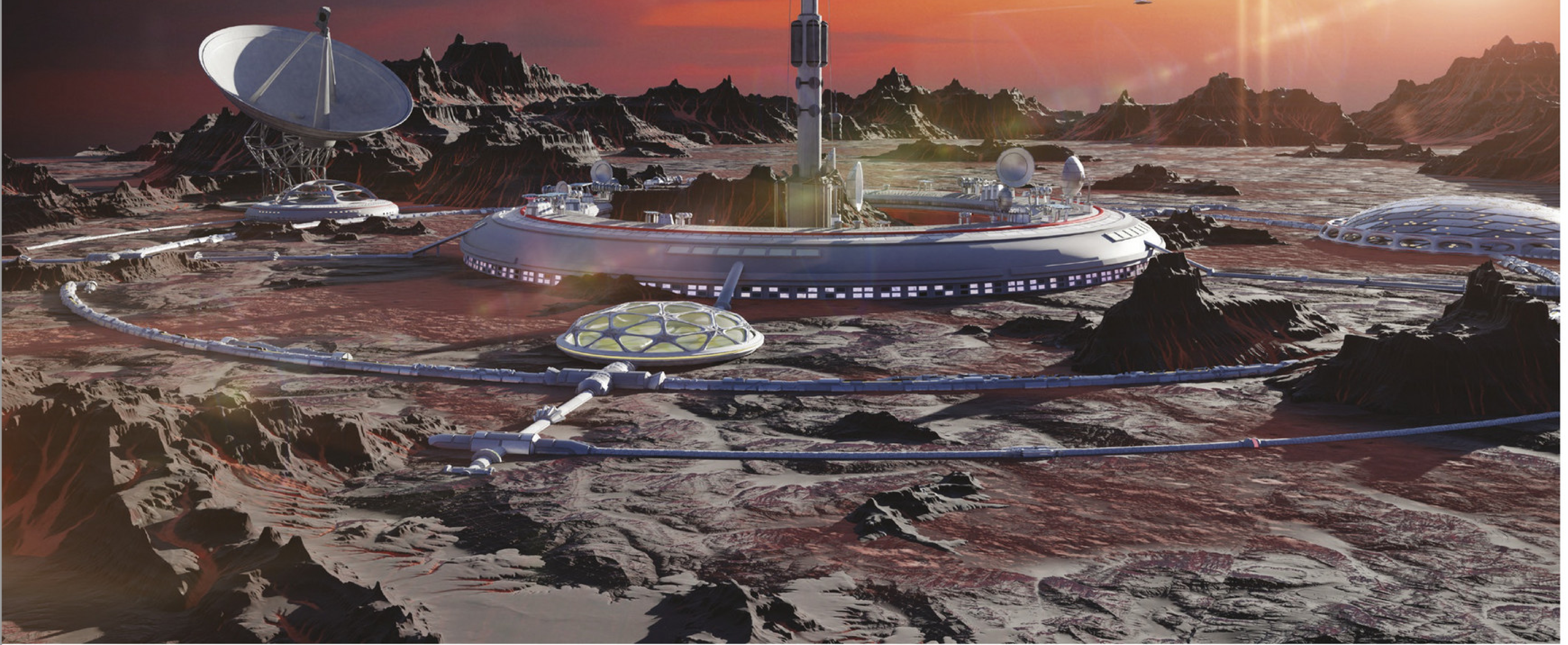
- Klik op het vakje met de datum en tijd, rechts onder op je scherm. Gebruik de pijltjes boven en onder de tijd om te bekijken hoe het sterrenbeeld Orion onder de horizon verdwijnt.

12 De gordel van Orion bestaat uit drie heldere sterren vlak naast elkaar. Wanneer verdwijnt deze gordel bij benadering onder de horizon?

....

- Voor waarnemingen aan de echte sterrenhemel kun je het best de app Stellarium op je telefoon zetten. Daarmee heb je altijd een sterrenkaart bij de hand. Sterrenbeelden, bijzondere sterren en planeten zijn daarmee snel te vinden.

Leven op Mars?



Eindelijk is de dag aangebroken waarvan je allang wist dat die zou komen. Je bent dolgelukkig dat je kunt vertrekken, maar tegelijk ook erg bang voor wat komen gaat. Je zit stevig met riemen vast in je stoel van het ruimteschip. Het aftellen begint. "Three, two, one ... Lift off!" En dan schiet je omhoog, weg van planeet aarde, klaar voor de reis naar Mars die zeker een halfjaar gaat duren.

De reis

Het is 1 juli 2037. Een paar jaar geleden ben je geselecteerd voor de eerste groep pioniers die op Mars, de rode planeet, gaat wonen. Je bent uitgekozen door het internationale samenwerkingsverband *Life on Mars*, dat is opgericht na de Wereldvredesverklaring van 2030. De deelnemers zijn de voormalige ruimtevaartorganisaties NASA en ESA, de Chinese overheid en de bedrijven van Elon Musk. Deze organisaties hebben verkenners naar Mars gestuurd en waren jaren bezig met het voorbereiden van bemande vluchten. Ze kwamen tot de conclusie dat samenwerken beter ging dan concurreren bij deze complexe en dure onderneming.

De afgelopen jaren heb je een intensief trainingsprogramma gevolgd. Dat bestond uit veel technische en medische theorie en praktijklessen. Maar ook ben je getraind in psychologie, want op een evenwichtige manier omgaan met mensen is essentieel als je gedurende lange tijd met anderen in een kleine ruimte zit opgescheept. Ook heb je veel gesport. Tijdens deze reis zul je elke dag veel sportoefeningen doen. In de ruimte ben je namelijk gewichtloos, je zweeft. Daardoor hoeft je lichaam niet zo hard te werken en verlies je spier- en botmassa. Dat moet je dus compenseren door veel te sporten. Als je aankomt op Mars, wil je natuurlijk nog gezond zijn, want er staat je nogal wat te wachten ...

Een zachte landing?

De omlooptijd van Mars om de zon is 1,88 aardse jaren. Dat is de belangrijkste reden waarom de afstand tussen de aarde en Mars in de tijd varieert tussen 54,6 en 401 miljoen kilometer. Een reis naar Mars is alleen om de 26 maanden mogelijk, wanneer de twee planeten dicht genoeg bij elkaar staan. Ongeveer drie maanden lang kunnen astronauten en materiaal dan vertrekken. Mensen die naar Mars reizen, zullen daar langer dan een jaar moeten verblijven, voordat de terugreis naar aarde weer mogelijk is (tabel 1).

> ***"In 2050 wil ik 1 miljoen mensen naar Mars hebben gebracht."***
> *Elon Musk*

tabel 1 Mogelijke vertrekdata van materiaal (dat eerder verstuurd wordt) en astronauten voor de bemande missie van 2037.

	eerst mogelijke datum	laatst mogelijke datum
vertrek transport materiaal vanaf aarde	1 april 2035	30 augustus 2035
vertrek astronauten vanaf aarde	1 juli 2037	30 september 2037
terugkeer astronauten vanaf Mars	15 april 2039	15 januari 2040

Het is januari 2038. Na vele maanden komt je ruimteschip aan bij de rode planeet (figuur 1). Tot zover is de reis goed verlopen, maar nu wordt het echt spannend! Blijft alles en iedereen heel bij de landing? Je reist nu nog met een snelheid van 21 000 km/h. Met raketten wordt die snelheid nu sterk teruggebracht. Enkele weken cirkel je nog rond de planeet, terwijl je verder afremt. Afremmen en landen is niet eenvoudig, omdat Mars een atmosfeer heeft die veel ijler is dan de dampkring op aarde. De atmosferische druk op Mars is meer dan honderd keer kleiner. Er zijn dus minder moleculen in de lucht en hoe kleiner het aantal moleculen, des te minder kunnen voorwerpen worden afgeremd. Daarom is er voor de landing een gigantische hittebestendige parachute aan boord. Nu is het tijd om die uit te gooien en dan ...

Zuurstof

Iedereen heeft de klap van de landing overleefd. De stemming aan boord is fantastisch! Na al die tijd in het ruimteschip wil iedereen graag naar buiten voor de eerste wandeling. Iedereen wurmt zich snel in het speciale ruimtepak, compleet met zuurstofflessen (figuur 2). Want ademen op Mars gaat niet vanzelf. De atmosfeer van de planeet bestaat bijna helemaal uit koolstofdioxide met maar 0,1% zuurstof.

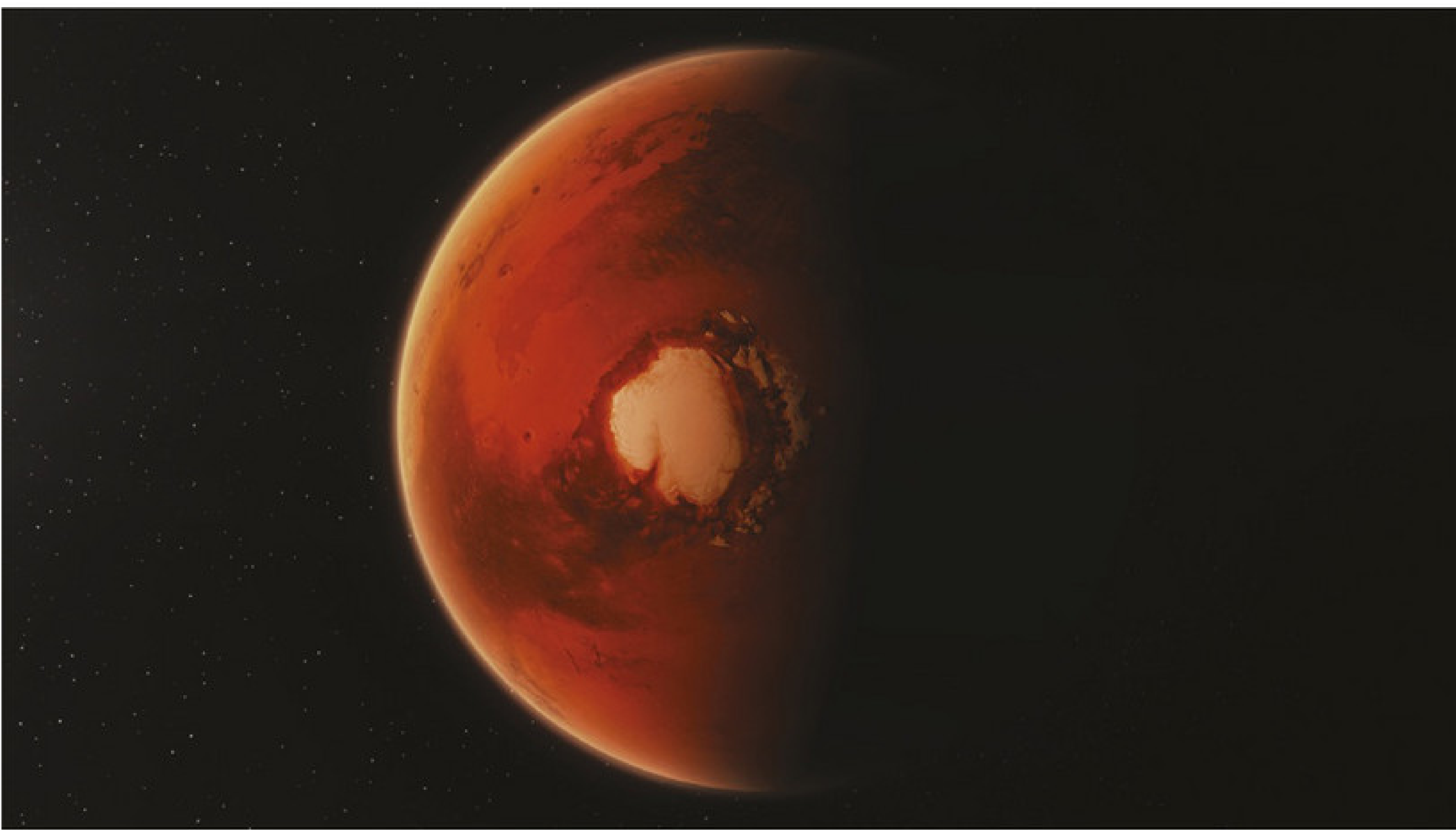
In het ruimteschip kun je ademen, omdat er steeds zuurstof wordt gemaakt door het splitsen van meegenomen water met behulp van de elektriciteit van zonnepanelen. En algen zorgen ervoor dat de koolstofdioxide die je uitademt weer wordt omgezet in zuurstof. Een van je eerste taken op Mars is het vinden van water om te splitsen, zodat je kunt blijven ademen. Het is niet zo dat er rivieren stromen en een zee is er ook niet. Het water bevindt zich onder de grond en is bevroren. Dat moet je loshakken en verzamelen. Als je het verwarmt, kun je het drinken. Met elektriciteit splits je water in zuurstof en waterstof. Deze twee gassen worden apart opgevangen: waterstof kan gebruikt worden als brandstof en zuurstof om te ademen.

Als je buiten bent, moet je je ruimtepak altijd aan. Het beschermt je tegen schadelijke straling uit de ruimte en van de zon. Op aarde ontstaat in de atmosfeer uit zuurstof het gas ozon. Dat zorgt ervoor dat diezelfde straling niet door de dampkring heen kan dringen. Maar op Mars is dat een constante dreiging.

Mars Utopia Planitia Station

Veel tijd om bij te komen van de reis is er niet. Er moet gebouwd worden, en snel. Je wilt graag een ander onderkomen dan dat kleine ruimteschip, waarin je al maanden zat opgesloten met de anderen. De *Life on Mars*-materialenmissie van het jaar 2035 heeft bouwpakketten en gereedschap bij de landingsplek gedropt. Hiermee gaan jullie het *Mars Utopia Planitia Station* bouwen.

Het is koud op Mars. Omdat de planeet verder van de zon staat dan aarde, komt er de helft minder zonlicht. Omdat de atmosfeer van Mars zo dun is, wordt deze warmte 's nachts ook niet vastgehouden. De temperatuur komt in het volle zonlicht net boven 0 °C. In de nacht vriest het en is het −80 tot −90 °C.



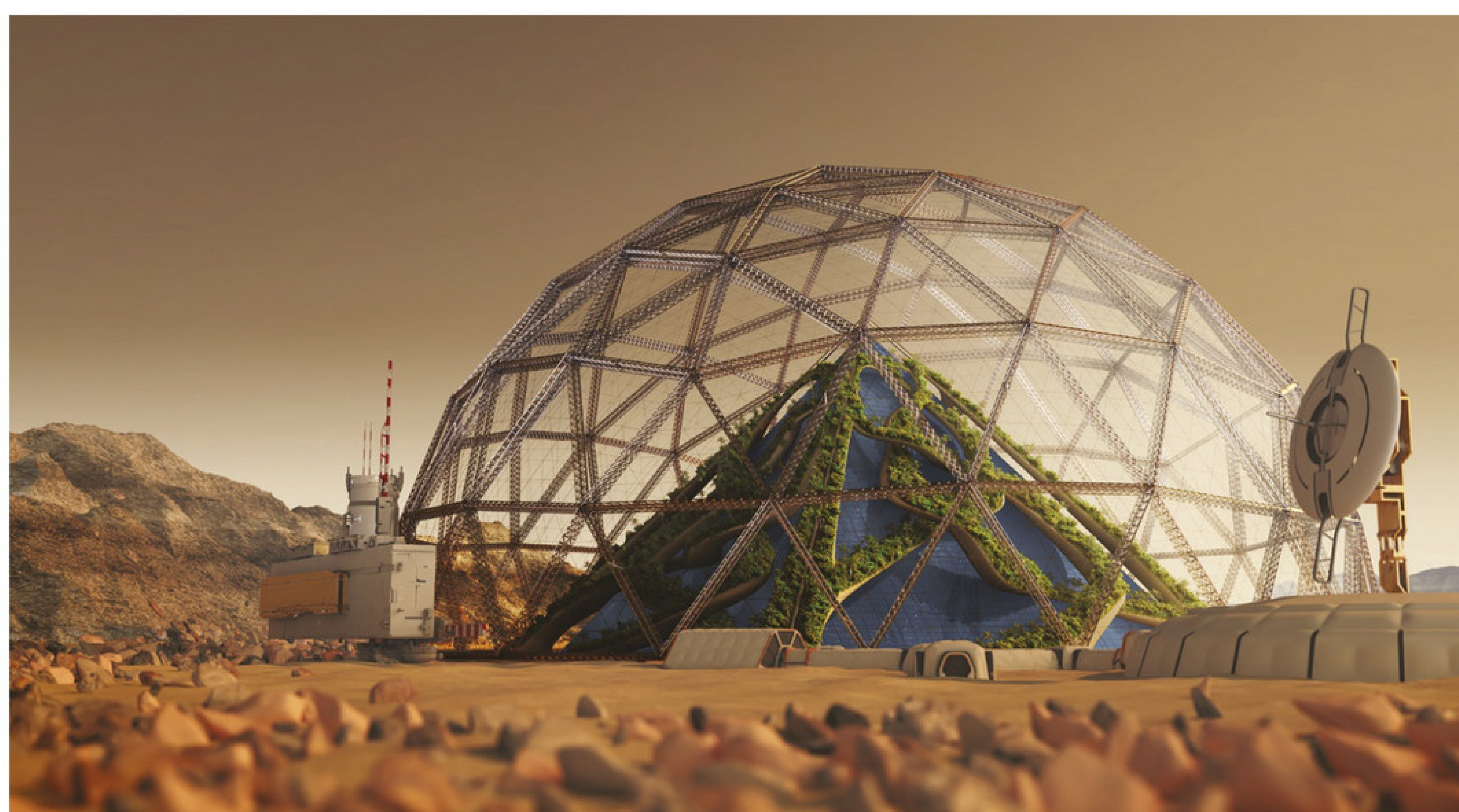
figuur 1 Je komt steeds dichter bij Mars en ziet hoe dun de atmosfeer van de planeet is.



figuur 2 Wandeling op Mars in ruimtepak.

Gelukkig komt er genoeg zon voor de werking van de zonnepanelen die voor de energievoorziening gaan zorgen.

De omstandigheden op Mars zijn niet bepaald mensvriendelijk. Ze maken ook het leven van planten onmogelijk, dus bij het nieuwe onderkomen bouwen jullie een grote broeikas, waarin de meegebrachte zaden kunnen kiemen en voedselgewassen kunnen groeien (figuur 3). Wat zullen jullie smullen na de eerste oogst!

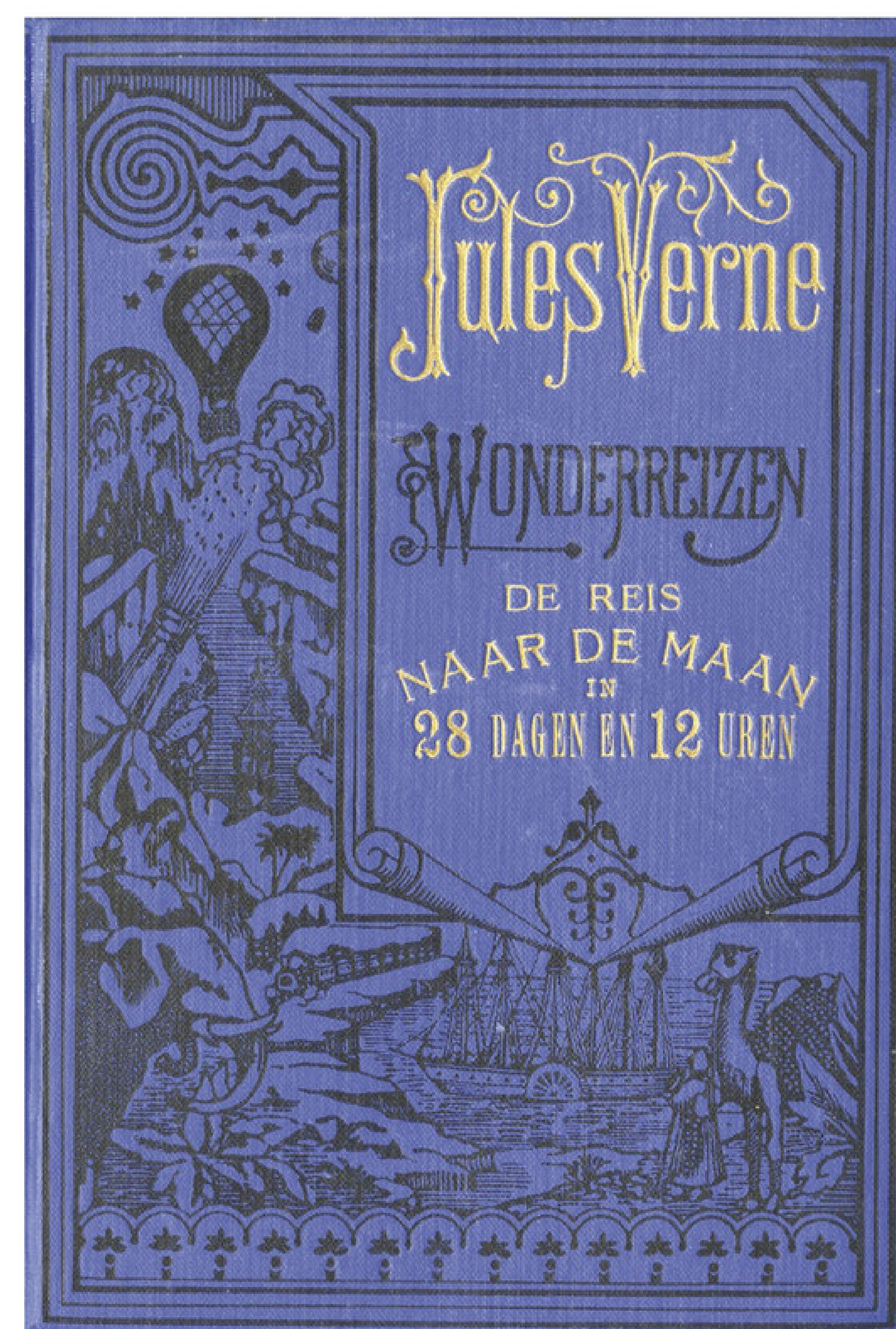


figuur 3 Ontwerp voor een kas voor voedselgewassen op Mars.

Wanneer kun jij naar Mars?

Dit verhaal lijkt sciencefiction, maar dat is het niet helemaal. NASA, ESA, de Chinese overheid en Elon Musk werken al enige tijd aan de voorbereiding van bemande reizen naar Mars. Er worden data genoemd waarop de eerste astronauten naar de rode planeet kunnen vertrekken, maar de plannen worden ook regelmatig uitgesteld. Een reis naar Mars is op alle gebieden ingewikkeld en duur. Het is de vraag wanneer de eerste missie, nu gepland voor 2037, weer wordt uitgesteld.

Sciencefiction speelt bij de ontwikkeling van de plannen voor ruimtereizen een grotere rol dan je misschien denkt. Sciencefiction is een grote bron van inspiratie en ideeën voor de wetenschappers en ingenieurs die werken aan de ruimtevaartuigen van de toekomst (figuur 4).



figuur 4 In 1865 en 1870 schreef Jules Verne twee sciencefictionverhalen over reizen naar de maan. Ze verschenen in Nederland in één boek. Honderd jaar later was het werkelijkheid.

figuur 5 *Reaching for the stars.*

ASTRONOMIE VOOR IEDEREEN

Het maakt niet zoveel uit waar je woont: er zijn jongeren over de hele wereld die dromen van een toekomst als astronaut. Neem Sepideh Hooshyar, dochter van een arme weduwe in Iran (figuur 5). Thuis bekeek ze filmpjes van Anousheh Ansari, de eerste vrouwelijke ruimtetoerist die in 2006 werd gelanceerd naar het internationale ruimtestation ISS. Sepideh had het geluk dat ze zich kon aansluiten bij een club jongeren die 's nachts de hemel bestudeerde. Ze kreeg hier les over astronomie van een gedreven man uit het dorp. Van het een kwam het ander en ondanks het gebrek aan geld gaven mensen haar de kans te studeren. Sepideh werd uiteindelijk geen astronaut, maar wel astronoom. Over haar leven is een prachtige film gemaakt: *Sepideh, reaching for the stars* (2013).



Nederland heeft ook sterrenkundeverenigingen. De Jongerenwerkgroep voor Sterrenkunde is dé sterrenkundevereniging voor jongeren tot 21 jaar. De afdelingen verspreid over Nederland organiseren verschillende activiteiten en kampen. Je kunt hier planeten en sterren bestuderen.

Naar: www.sterrenkunde.nl/jwg

OPDRACHTEN

1 De atmosfeer van Mars is anders dan die van aarde.

a Welke bewering is juist?
- ○ A De dampkring van Mars bevat minder moleculen dan die van aarde.
- ○ B De dampkring van Mars bevat evenveel moleculen als die van aarde.
- ○ C De dampkring van Mars bevat meer moleculen dan die van aarde.

b Welke bewering is juist?
- ○ A De dampkring van Mars bevat relatief minder koolstofdioxide dan die van aarde.
- ○ B De dampkring van Mars bevat relatief evenveel koolstofdioxide als die van aarde.
- ○ C De dampkring van Mars bevat relatief meer koolstofdioxide dan die van aarde.

c Leg uit waarom je een ruimtepak moet dragen tijdens een wandeling op Mars.

2 Dit verhaal gaat over een ruimtemissie naar Mars in het jaar 2037.

a Wat is de eerst mogelijke datum waarop de astronauten die op 1 juli 2037 van de aarde naar Mars vertrekken, kunnen terugkeren op aarde?

b Er zijn in 2037 ineens onverwachte technische problemen. Het duurt een halfjaar om die op te lossen.
Wanneer kan de eerste bemande reis naar Mars dan plaatsvinden?

c In juli 2037 staan de aarde en Mars relatief dicht bij elkaar. In juli 2038 is de afstand tussen de twee planeten groter, omdat de aarde in 1 jaar rond de zon draait en Mars in 1,88 jaar (ongeveer 22 maanden).
Maak twee schetsen van de positie van de zon, de aarde en Mars: in juli 2037 en in juli 2038.

d Waarom moet je tijdens de reis naar Mars veel sporten?

3 Zou jij willen leven op Mars? Schrijf op waarom wel of niet.

Leerstofoverzicht

7.1 STERREN, ZON EN MAAN

ONTHOUD

- Vanuit de aarde gezien bewegen de sterren langs de hemel. Ze komen op in het oosten, bewegen omhoog in een grote boog naar het zuiden en dalen dan tot ze in het westen ondergaan. Dit komt doordat de aarde rond de aardas draait.
- De plek waar de zon opkomt, verschuift elke dag een beetje ten opzichte van de sterren. In de loop van het jaar beweegt de zon zo langs alle sterrenbeelden van de dierenriem.
- De aardas staat schuin ten opzichte van het ecliptisch vlak. Hierdoor krijgt de ene helft van het jaar het noordelijk halfrond meer zon. Het is dan zomer en de dagen zijn langer. De andere helft van het jaar is het andersom (winter).
- De maan wordt door de zon verlicht. Afhankelijk van waar de maan staat ten opzichte van de aarde, zie je meer of minder van de verlichte kant. Zo ontstaan de schijngestalten van de maan.
- De maan draait niet alleen om de aarde, maar ook om zijn eigen as. De maan doet precies even lang over een rondje om de aarde als over een rondje om de eigen as. Daarom zie je van de maan altijd dezelfde kant.

BEGRIPPEN

aardas
Denkbeeldige lijn door de beide polen van de aarde, waar de aarde omheen draait.

aswenteling
Draaiende beweging van de aarde rond de aardas, waardoor dag en nacht ontstaan.

dierenriem
Strook langs de hemel met de twaalf sterrenbeelden, waar de zon in de loop van het jaar voorlangs beweegt.

ecliptisch vlak
Vlak waarin de baan van de aarde (en dus ook de zon) ligt.

ellips
Soort afgeplatte cirkel.

fase
Ander woord voor schijngestalte.

nieuwe maan
Zo ziet de maan eruit als de donkere kant naar de aarde toegekeerd is; de maan is dan onzichtbaar.

noordelijke hemelpool
Punt aan de hemel waar het noordelijke uiteinde van de aardas naartoe wijst; alle sterren in het noorden lijken rond dit punt te draaien.

schijngestalte
Schijnbaar uiterlijk van een planeet of een maan, doordat je alleen het deel kunt zien dat door de zon verlicht wordt (en het niet-verlichte deel onzichtbaar blijft).

sterrenbeeld
Groepje sterren dat een herkenbare figuur vormt, met een eigen naam; bekende voorbeelden zijn Orion en de Grote Beer.

volle maan
Zo ziet de maan eruit als je tegen het door de zon verlichte deel aankijkt: een grote ronde schijf.

7.2 HET ZONNESTELSEL

ONTHOUD

- Een planeet is een hemellichaam dat om een ster draait en dat zijn eigen baan en de omgeving daarvan heeft schoongeveegd.
- Planeten kun je onderscheiden doordat ze bewegen ten opzichte van de sterren. Ook hebben ze, als je door een telescoop kijkt, elk een eigen, kenmerkend uiterlijk.
- Planeten bewegen in een ellips rond de zon.
- In volgorde van hun afstand tot de zon heten de planeten Mercurius, Venus, aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus.
- De aardse planeten hebben een hard, rotsachtig oppervlak. De reuzenplaneten zijn veel groter dan de aardse planeten en bestaan voor een groot deel uit gassen.
- De astronomische eenheid (AE) is de gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon. $1\ AE = 150 \cdot 10^6$ km.

BEGRIPPEN

aardse planeet
Planeet die op de aarde lijkt, met een hard, rotsachtig oppervlak waarop planeetverkenners kunnen landen.

astronomische eenheid
Gemiddelde afstand tussen de aarde en de zon.

planeet
Bolvormig hemellichaam dat in een ellips rond de zon (of een andere ster) beweegt en dat zijn eigen baan en omgeving daarvan heeft schoongeveegd.

reuzenplaneet
Planeet die veel groter is dan de aarde en voor een groot deel uit gassen bestaat; een reuzenplaneet heeft geen stevig oppervlak waarop je zou kunnen landen.

7.3 DE ATMOSFEER VAN EEN PLANEET

ONTHOUD

- Satellieten kunnen jarenlang rond de aarde blijven draaien, omdat er geen moleculen zijn die de beweging afremmen.
- De atmosferen van de aarde, Venus en Mars bestaan uit verschillende mengsels van gassen. In de aardse atmosfeer komt stikstof het meest voor, gevolgd door zuurstof. De atmosferen van Venus en Mars bestaan vooral uit koolstofdioxide.
- De atmosfeer van de aarde zorgt er door het broeikaseffect voor dat de gemiddelde temperatuur op aarde ongeveer 15 °C blijft.
- Zuurstof is onmisbaar voor mensen (en dieren) op aarde, omdat we zonder niet kunnen ademen. Planten hebben koolstofdioxide nodig om te groeien.
- Luchtdruk ontstaat door het gewicht van de lucht boven je.
- Meestal is de luchtdruk vanbinnen even groot als de druk vanbuiten en merk je er daardoor niks van.
- Luchtdruk meet je met een barometer. Weerkundigen gebruiken de eenheid hectopascal (hPa).
- De luchtdruk neemt af met de hoogte. Dat komt doordat de hoeveelheid lucht boven je steeds kleiner wordt.

BEGRIPPEN

atmosfeer
Mengsel van gassen dat de buitenste laag van een planeet vormt.

atmosferische druk
Druk die ontstaat door het gewicht van de gassen in de atmosfeer van de planeet.

barometer
Instrument waarmee je de atmosferische druk meet.

luchtdruk
Atmosferische druk op aarde.

standaarddruk
Gemiddelde luchtdruk op aarde op zeeniveau: 1013 hPa.

tegendruk
Druk van de gassen in een hol voorwerp, die tegen de atmosferische druk in werkt.

vacuüm
Ruimte waarin geen moleculen zijn en die dus letterlijk helemaal leeg is.

7.4 DE BOUW VAN HET HEELAL

ONTHOUD

- Met een sterrenkaart kun je vinden waar aan de hemel sterren, planeten en sterrenbeelden staan op een bepaald tijdstip.
- Een ster is een enorme bol gloeiend hete gassen. De zon is de ster die het dichtst bij ons staat.
- Een lichtjaar (lj) is de afstand die het licht in één jaar aflegt door het vacuüm van de ruimte. 1 lj = $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km en 1 lj = $63 \cdot 10^{3}$ AE.
- Parallax is het verschijnsel dat als je vanuit twee verschillende plekken naar hetzelfde voorwerp kijkt, je in beide gevallen een ander stukje achtergrond achter dat voorwerp ziet.
- Bij de afstandsbepaling met de parallax bekijk je een ster twee keer: een keer in de zomer en een keer in de winter. Je meet telkens de hoek waaronder je de ster ziet. Deze hoek is de parallax.
- Als de parallax *p* gelijk is aan 1 boogseconde, dan is de afstand van de ster tot de aarde gelijk aan 1 parsec (afgekort pc). 1 pc = $3{,}09 \cdot 10^{13}$ km
- Je kunt de afstand van een ster tot de aarde in parsec berekenen als je de parallax kent in boogseconden. De formule is:
  $d = \frac{1}{p}$
- Met een goede telescoop kun je veel sterrenstelsels aan de hemel ontdekken. Van ons eigen sterrenstelsel zie je de losse sterren die dicht bij de zon staan en de Melkweg zelf als een band van licht.
- In het heelal zijn miljarden sterrenstelsel zichtbaar. De verst gelegen sterrenstelsels liggen op een afstand van miljarden lichtjaren van de aarde.

BEGRIPPEN

lichtjaar
Afstand die het licht in één jaar aflegt in het vacuüm van de ruimte.

Melkweg
Sterrenstelsel waar de zon en de aarde deel van uitmaken. Ook de band van licht die langs de nachtelijke hemel te zien is.

melkwegstelsel
Andere naam voor sterrenstelsel.

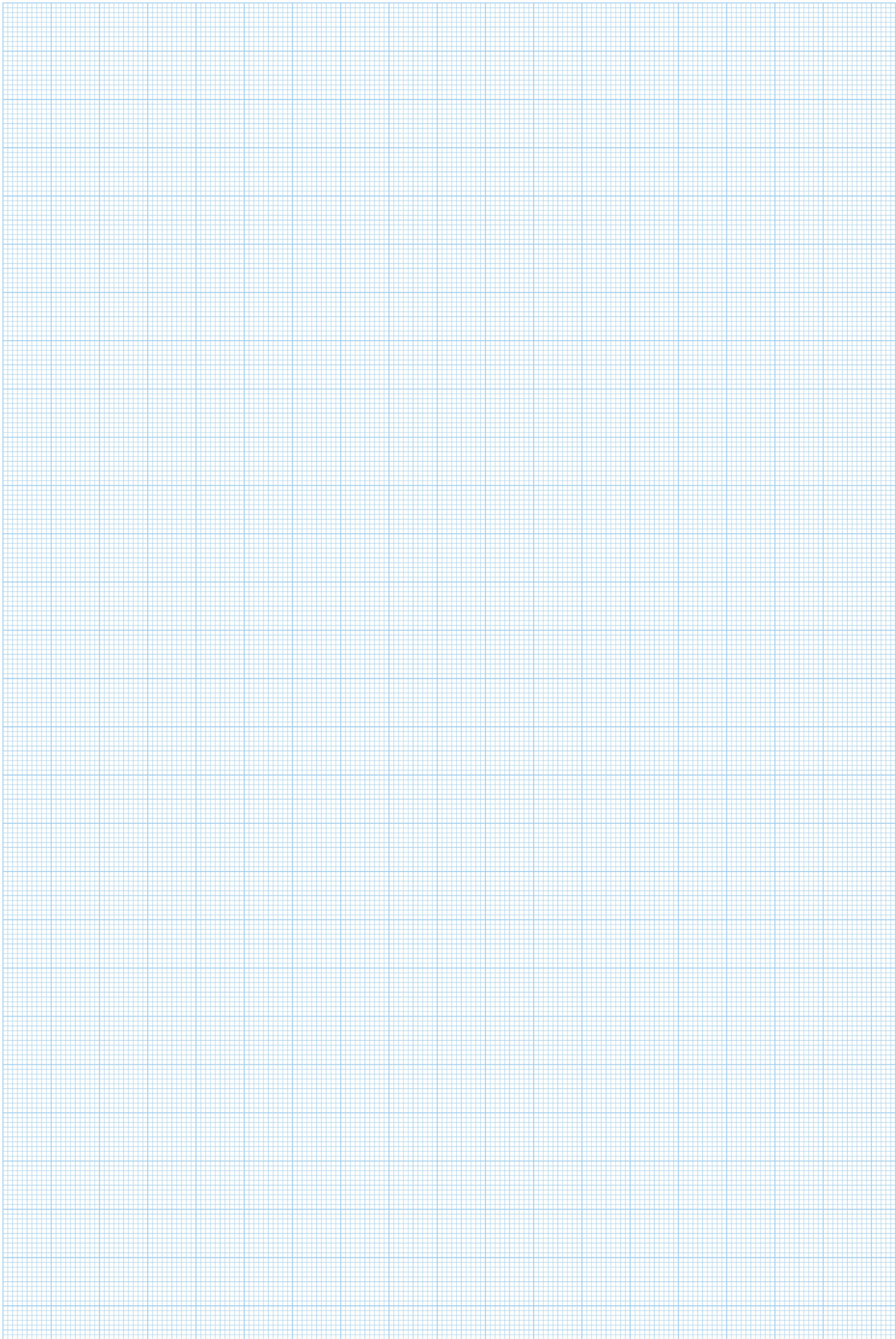
parallax
Het verschijnsel dat als je vanuit twee verschillende plekken naar hetzelfde voorwerp kijkt, je in beide gevallen een ander stukje achtergrond achter dat voorwerp ziet. Of: de grootheid die wordt uitgedrukt in boogseconde.

parsec
Afstandseenheid in de sterrenkunde.

sterrenkaart
Kaart waarop de sterrenhemel wordt weergegeven zoals die op een wolkeloze nacht te zien is.

sterrenstelsel
Verzameling van enkele honderden miljarden bij elkaar horende sterren, vaak met opvallende, spiraalvormige armen.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.



8 Geluid

GELUIDSGOLVEN ZIJN OVERAL
Een wereld zonder geluiden kun je je moeilijk voorstellen. Hoe zou de wereld zijn zonder muziek, zonder leuke gesprekken, zonder het geluid van de wind en de zee? Maar ook zonder de herrie van langsrazende auto's, jankende katten en luidruchtige buren?



1 Geluid maken en horen

LEERDOELEN

8.1.1 Je kunt een aantal voorbeelden noemen van geluidsbronnen.
8.1.2 Je kunt uitleggen hoe het geluid van een geluidsbron zich verspreidt tot je oren het geluid horen.
8.1.3 Je kunt beschrijven wat een tussenstof is.
8.1.4 Je kunt de geluidssnelheid in lucht van 20 °C noemen.
8.1.5 Je kunt berekeningen maken met de geluidssnelheid in verschillende tussenstoffen.
8.1.6 Je kunt uitleggen hoe je spraakorgaan geluiden maakt.
EXTRA 8.1.7 Je kunt uitleggen wat er gebeurt met de geluidsgolven bij een supersonisch vliegtuig.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN LEERDOELEN						
	8.1.1	8.1.2	8.1.3	8.1.4	8.1.5	8.1.6	8.1.7
Onthouden	1bc	2abcd					13a
Begrijpen	1a		7c, 10, 12ac	4a	5c, 7a	9abcd	13b
Toepassen		2e	3abc, 8		4b, 6, 7b		14
Analyseren			11, 12b		5ab		15

In de natuur kom je allerlei geluiden tegen. Denk aan het rommelen van de donder, het ruisen van de zee en dierengeluiden. Ook mensen maken en veroorzaken geluid. Ze praten, zingen, schreeuwen, maken muziek, rijden in auto's, steken vuurwerk af enzovoort.

GELUIDSBRONNEN

PROEF 1

Een voorwerp dat geluid maakt, noem je een **geluidsbron**. Veel geluidsbronnen zijn door mensen gemaakt, zoals muziekinstrumenten, vuurwerk, motoren en luidsprekers. Andere geluiden komen van natuurlijke geluidsbronnen: je stem, regendruppels of de donder.

Geluid ontstaat door de trillingen in een geluidsbron:
- Bij je stem zijn het de stembanden in je keel die trillen.
- Bij een luidspreker is het de conus die trilt (figuur 1).



figuur 1 Als een luidspreker geluid geeft, kun je de conus voelen (en soms zien) trillen.

Die trilling hoor je als geluid, doordat de trilling zich vanaf de geluidsbron naar je oren verplaatst. Die verplaatsing kun je vergelijken met de rimpeling in het water als je er een steentje in gooit. De plons is daarbij te vergelijken met de geluidsbron. De rimpeling in het water is het geluid dat zich verplaatst.

GELUIDSGOLVEN

PROEF 2

De conus van een luidspreker is een dun vel van papier of plastic (conus komt van het Griekse *konos* = *pijnappel* of *kegel*). Als de luidspreker geluid geeft, trilt de conus. Daardoor ontstaan er drukveranderingen in de lucht. Als de conus naar buiten beweegt, worden de luchtmoleculen dichter op elkaar gedrukt en stijgt de luchtdruk. Als de conus naar binnen beweegt, krijgen de moleculen juist meer ruimte en daalt de luchtdruk. In figuur 2 zie je hoe het geluid van een luidspreker zich verspreidt.



figuur 2 Luchtdrukveranderingen bij een luidspreker.

Doordat de luchtmoleculen rond de luidspreker voortdurend met elkaar botsen, geven ze hun beweging aan elkaar door. De beweging van de moleculen vlak bij de conus wordt zo doorgegeven aan de moleculen die zich verder van de conus bevinden. Hierdoor bewegen de drukveranderingen in alle richtingen bij de luidspreker vandaan. Zo'n stroom van afwisselend een hogere en een lagere druk wordt een **geluidsgolf** genoemd. Als een geluidsgolf je oren bereikt, hoor je het geluid.

Je kunt een geluid alleen horen als er een **tussenstof** oftewel medium (Latijn: *midden*) is. Dit is een stof waardoor de trillingen zich kunnen verplaatsen van de geluidsbron naar je oren. De meeste geluiden bereiken je oren via de lucht. Maar geluid kan zich ook verplaatsen door een vloeistof (zoals water) of een vaste stof (zoals metaal). Het geluid van je stem hoor je bijvoorbeeld niet alleen buitenom (via de lucht), maar ook binnendoor (via je schedel). Ook onder water kun je geluid horen.

GELUIDSSNELHEID

Geluid heeft tijd nodig om zich door een stof te verplaatsen. Hoe snel het geluid zich verplaatst, verschilt van stof tot stof. In lucht is de **geluidssnelheid** bij 20 °C gelijk aan 343 m/s. Dat is meer dan 1200 km/h! In tabel 1 zie je hoe groot de geluidssnelheid in verschillende stoffen is.

tabel 1 De geluidssnelheid in enkele vaste stoffen, vloeistoffen en gassen bij 20 °C.

stof	geluidssnelheid (m/s)
vaste stoffen	
beton	4300
glas	4000-4500
kurk	500
rubber	50
staal	5100
vloeistoffen	
alcohol	1170
water	1480
zeewater	1510
gassen	
helium	965
koolstofdioxide (CO_2)	259
lucht	343

Je kunt geluid gebruiken om de afstand te berekenen tussen de geluidsbron en de ontvanger. Daarvoor moet je de geluidssnelheid kennen en weten (of meten) hoelang het geluid erover deed om van de bron de naar ontvanger te bewegen (figuur 3). Daarna gebruik je de formule die je kent uit hoofdstuk 5 Bewegen:

afstand = (geluids)snelheid × tijd

of in symbolen:

$$s = v_{geluid} \cdot t$$

Hierin is:
- s de afstand in meter (m);
- v_{geluid} de geluidssnelheid in meter per seconde (m/s);
- t de tijd in seconde (s).



figuur 3 Het geluid van de donder heeft een snelheid van ongeveer 343 m/s.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Inge maakt een wandeling aan het eind van een warme dag. Ze ziet in de verte de bliksem inslaan (figuur 3) en kijkt direct naar de secondewijzer van haar horloge. Het duurt drie seconden voor ze de donder hoort.
Bereken de afstand van Inge tot de blikseminslag. Ga ervan uit dat het op dat moment 20 °C is.

gegevens $v_{geluid} = 343$ m/s
$t = 3$ s

gevraagd $s = ?$

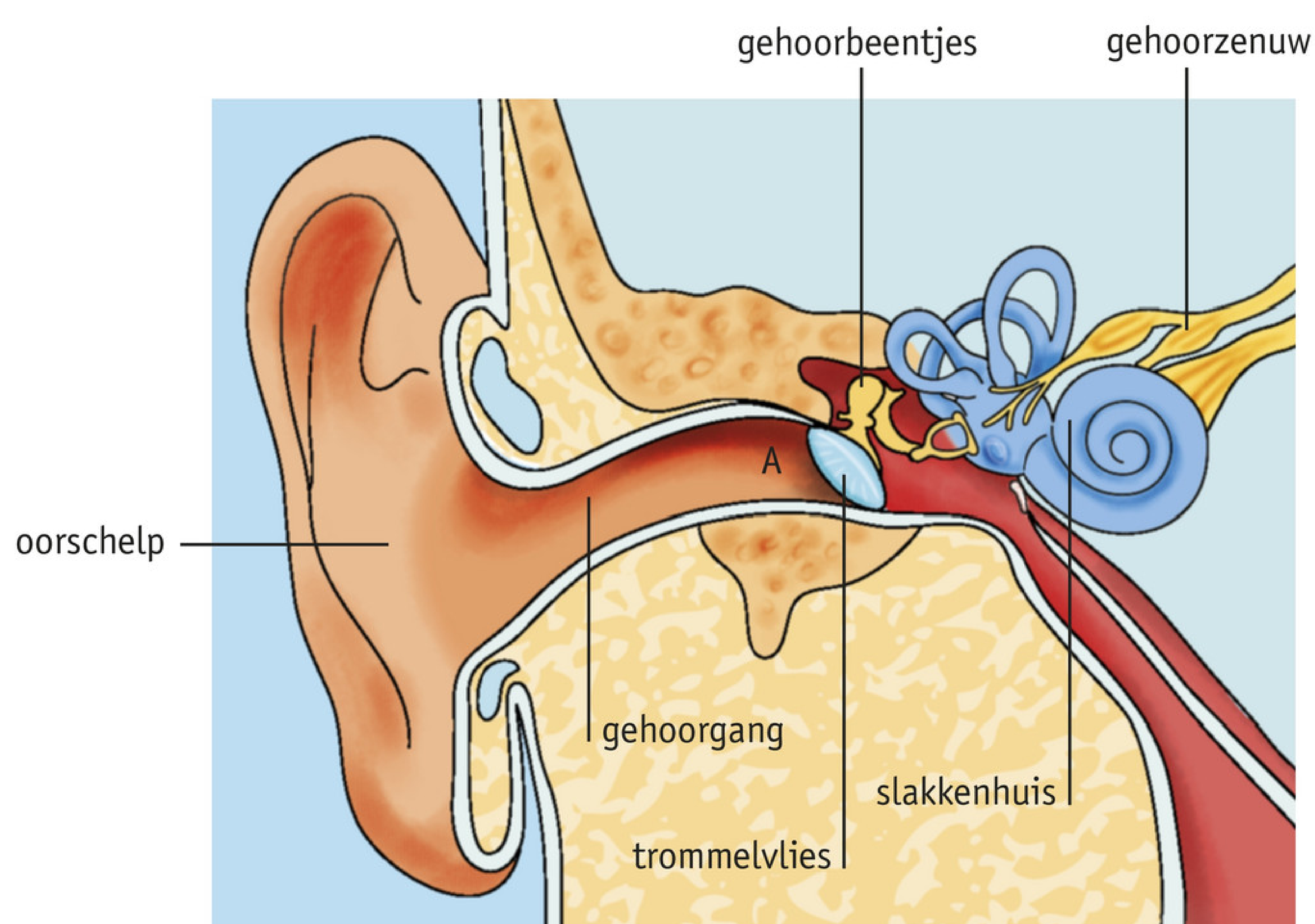
uitwerking $s = v_{geluid} \cdot t = 343 \times 3 = 1029$ m

De afstand is dus ongeveer 1 km.
Je hoeft geen rekening te houden met de tijd die het licht nodig heeft om bij je ogen te komen. De lichtsnelheid is namelijk heel groot: ongeveer 300 000 km/s!

GELUID HOREN

In figuur 4 is het inwendige van een oor getekend. Als de geluidsgolven het oor bereiken, gaat het trommelvlies meetrillen:

- het trommelvlies beweegt naar binnen als de luchtdruk bij A hoger wordt;
- het trommelvlies beweegt naar buiten als de luchtdruk bij A lager wordt.



figuur 4 Het inwendige van je oor.

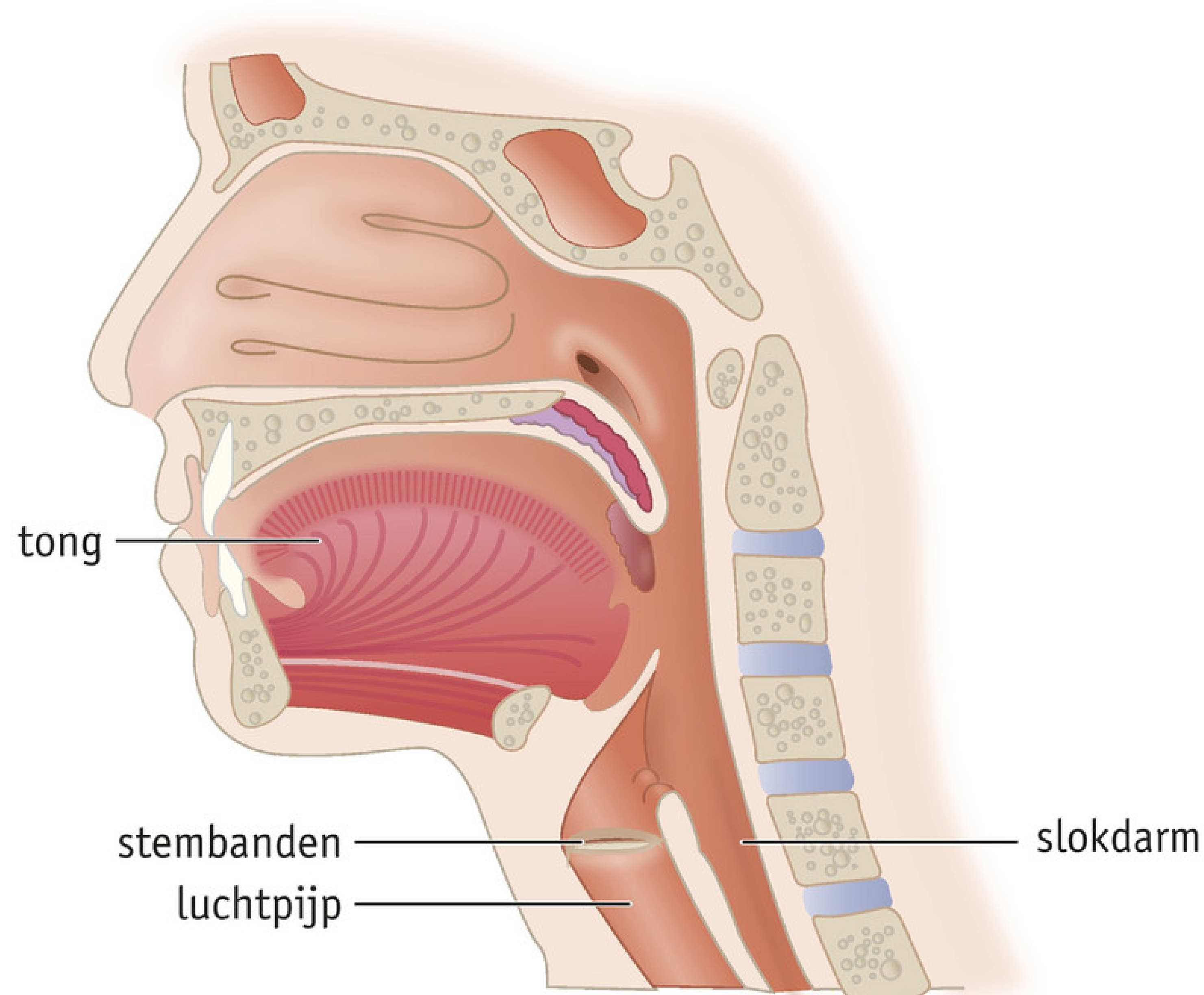
Het trommelvlies trilt mee met de veranderingen in de luchtdruk. De gehoorbeentjes brengen de trillende beweging van het trommelvlies over op de vloeistof in het slakkenhuis. Daarbij wordt het geluid versterkt.

In het slakkenhuis worden de trillingen door de gehoorcellen vertaald in elektrische signalen. Deze signalen worden via de gehoorzenuw doorgegeven naar de hersenen. Pas als je hersenen die signalen ontvangen, word je je van het geluid bewust: je hoort het geluid.

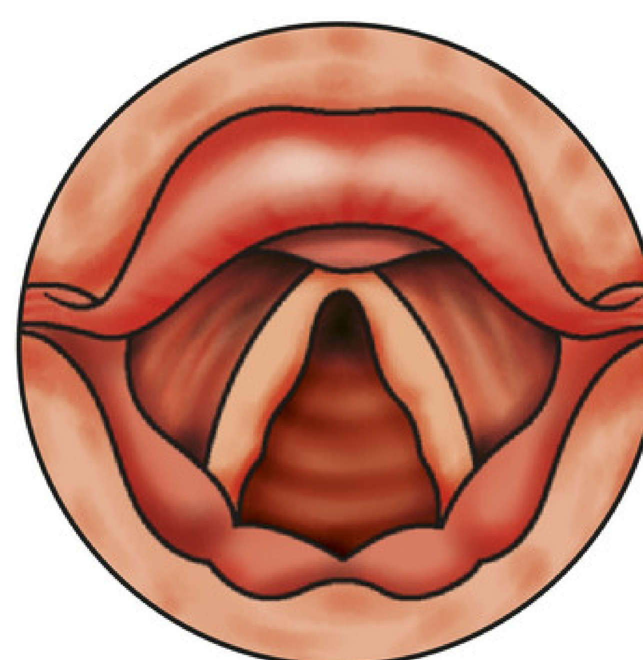
DE MENSELIJKE STEM

Het **spraakorgaan** van de mens bestaat uit de stembanden, de mond-, keel- en neusholte en de tong en lippen (figuur 5). Als je spreekt, sluiten je stembanden. Je longen persen dan lucht door de stemspleet: een smalle opening tussen je stembanden (figuur 6). Hierdoor beginnen je stembanden te trillen, zoals je kunt voelen als je een vinger op je keel legt.

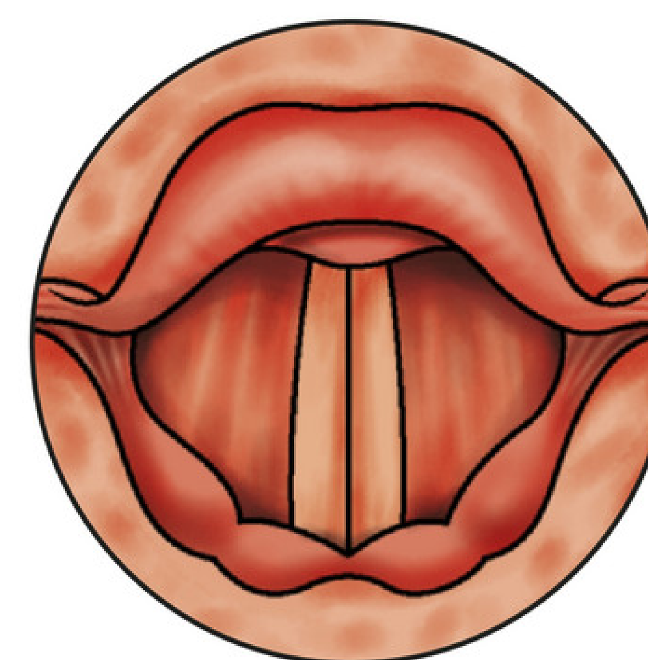
figuur 5 Het menselijk spraakorgaan.



figuur 6 Zo werken je stembanden.



Als je gewoon ademhaalt, staan de stembanden open.



Als je praat of zingt, zijn de stembanden gesloten.

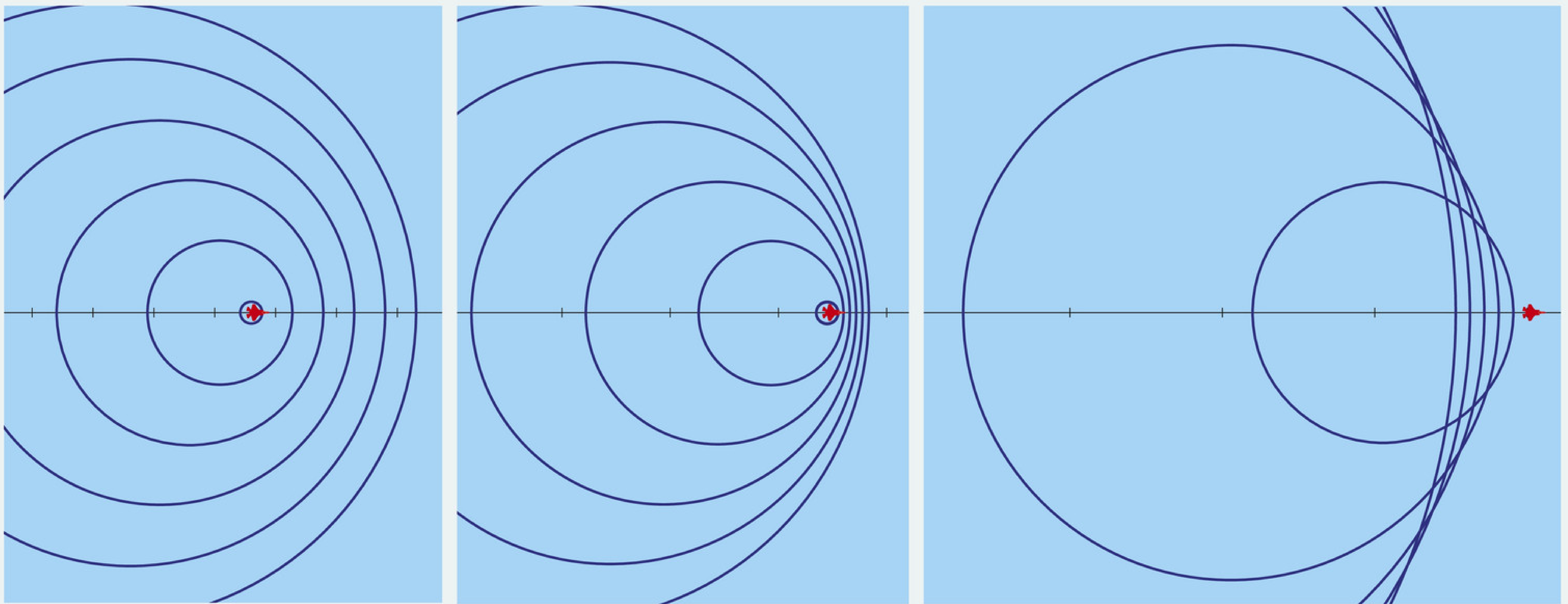
Met spiertjes kun je de spanning van je stembanden veranderen. Zo kun je de toonhoogte van je stem regelen. Door de vorm van je mondholte te veranderen, kun je het geluid van je stembanden vervormen. Zo maak je verschillende klinkers.

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA SUPERSONISCHE VLIEGTUIGEN

Gevechtsvliegtuigen kunnen vliegen met supersonische snelheid. Het woord supersonisch komt van het Latijnse *super* (= *boven*) en *sonus* (= *geluid*) en betekent: sneller dan het geluid. Een vliegtuig maakt veel geluid. Dat komt door de straalmotoren, maar ook door de lucht die langs het vliegtuig gaat. Denk maar eens aan het lawaai dat je hoort als je in een auto zit die op de snelweg rijdt.

Het vliegtuig beweegt terwijl het geluidsgolven uitzendt. In figuur 7 zie je dat daardoor de plekken van hoge druk (de blauwe lijnen) achter het vliegtuig verder uit elkaar liggen en voor het vliegtuig juist dichter op elkaar. Hoe sneller het vliegtuig gaat, des te dichter komen de geluidsgolven vóór het vliegtuig op elkaar. Wanneer het vliegtuig de geluidssnelheid bereikt, overlappen de geluidsgolven elkaar en ontstaat een schokgolf. Die hoor je als een harde knal.



figuur 7 De geluidsgolven van een vliegtuig dat naar rechts beweegt met 50% (links), 90% (midden) en 110% (rechts) van de geluidssnelheid.

1 Geluid wordt veroorzaakt door trillingen. Wat trilt er:

- **a** bij een trommel als je er een klap op geeft?
- **b** in een luidspreker als daar muziek uit komt?
- **c** in je keel als je aan het praten of zingen bent?

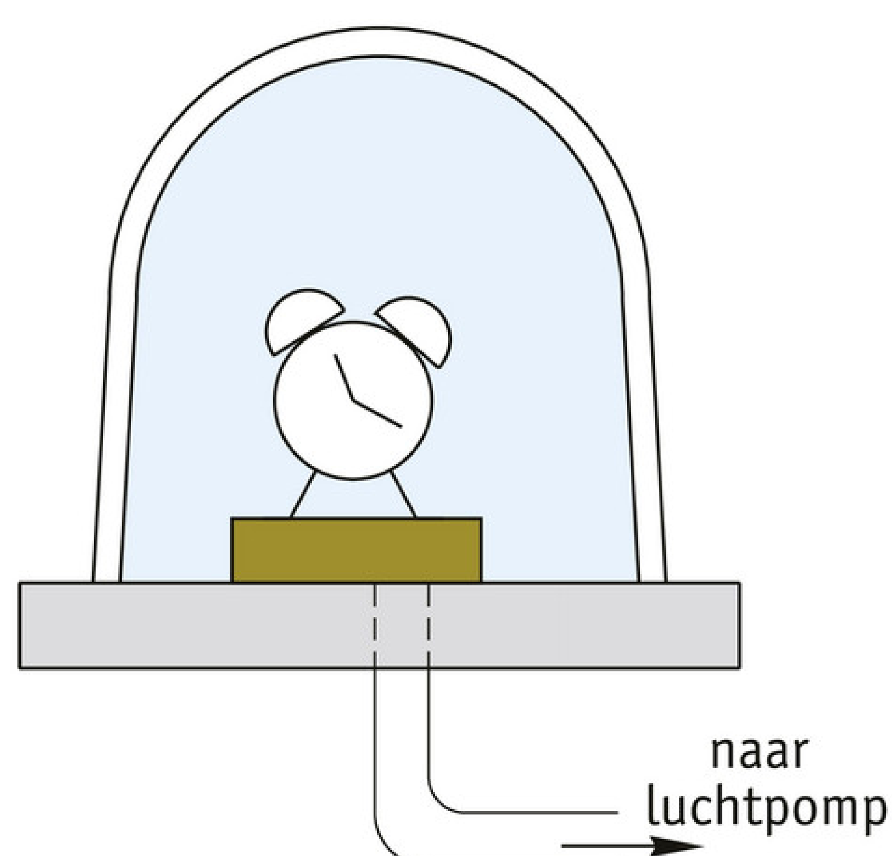
2 Een luidspreker is een voorbeeld van een geluidsbron.

- **a** Wat ontstaan er in de lucht als de conus begint te trillen?
- **b** Hoe verplaatst het geluid zich van de luidspreker naar je oren?
- **c** Welk deel van je oor gaat trillen als het geluid daar aankomt?
- **d** Waar in je oor worden de trillingen vertaald in elektrische signalen?
- **e** Het is mogelijk dat iemand goed werkende trommelvliezen heeft, maar toch niets hoort.
  Hoe kan dit? Noteer twee mogelijke oorzaken.

3

Hans bouwt een opstelling met een wekker op een stuk schuimrubber onder een glazen stolp (figuur 8). Hij laat de wekker rinkelen. Ondertussen pompt hij de lucht onder de stolp weg.

a Hoe verandert het geluid dat Hans hoort?
b Hoe komt dat?
c Waarom heeft Hans de wekker op een stuk schuimrubber gezet?



figuur 8 Een wekker onder een stolp.

4

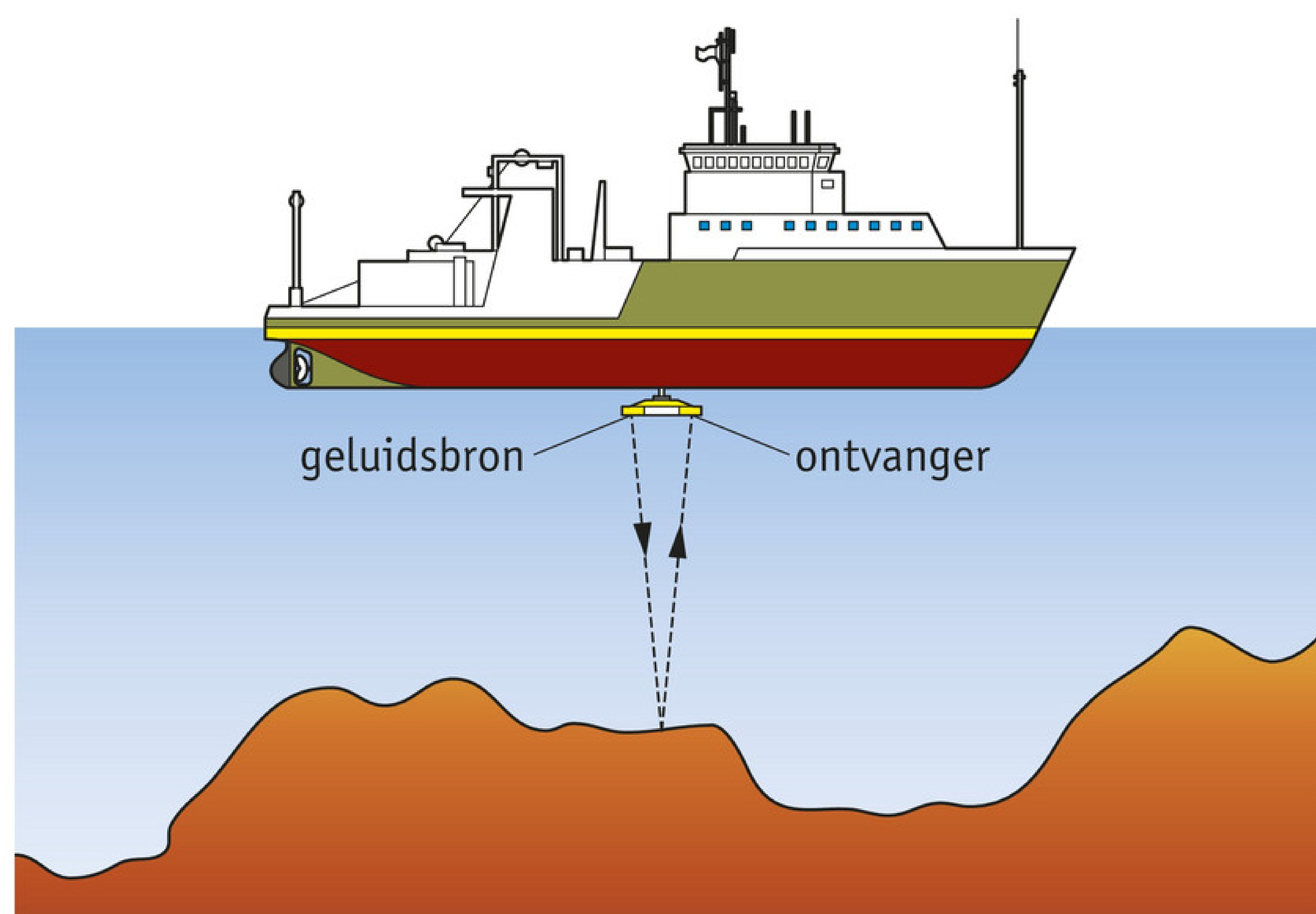
Het onweert in de verte. Fatima ziet een bliksemflits. Acht seconden later hoort ze het geluid van het onweer. Het is die dag 20 °C.

a Met welke snelheid komt het geluid naar Fatima toe?
b Bereken hoe ver het onweer van Fatima verwijderd is. Geef je antwoord in kilometers.

★ 5

Een schip gebruikt geluid om de diepte van de zee te meten. Het sonarsysteem zendt een korte geluidspuls uit en vangt even later het teruggekaatste signaal (de echo) weer op. Bekijk figuur 9. Tussen het uitzenden van het geluid en het ontvangen van de echo zit 0,42 s.

a Bereken hoe diep de zee is, in meter.
b Bij opdracht 5a ging je ervan uit dat de geluidspuls langs een verticale lijn omlaaggaat. In figuur 9 zie je dat het anders gaat.
Is de zee in werkelijkheid dieper of minder diep dan het antwoord bij opdracht 5a?
c Leg met tabel 1 uit waarom je een sonarsysteem voor op zee niet zomaar kunt gebruiken op een meer.



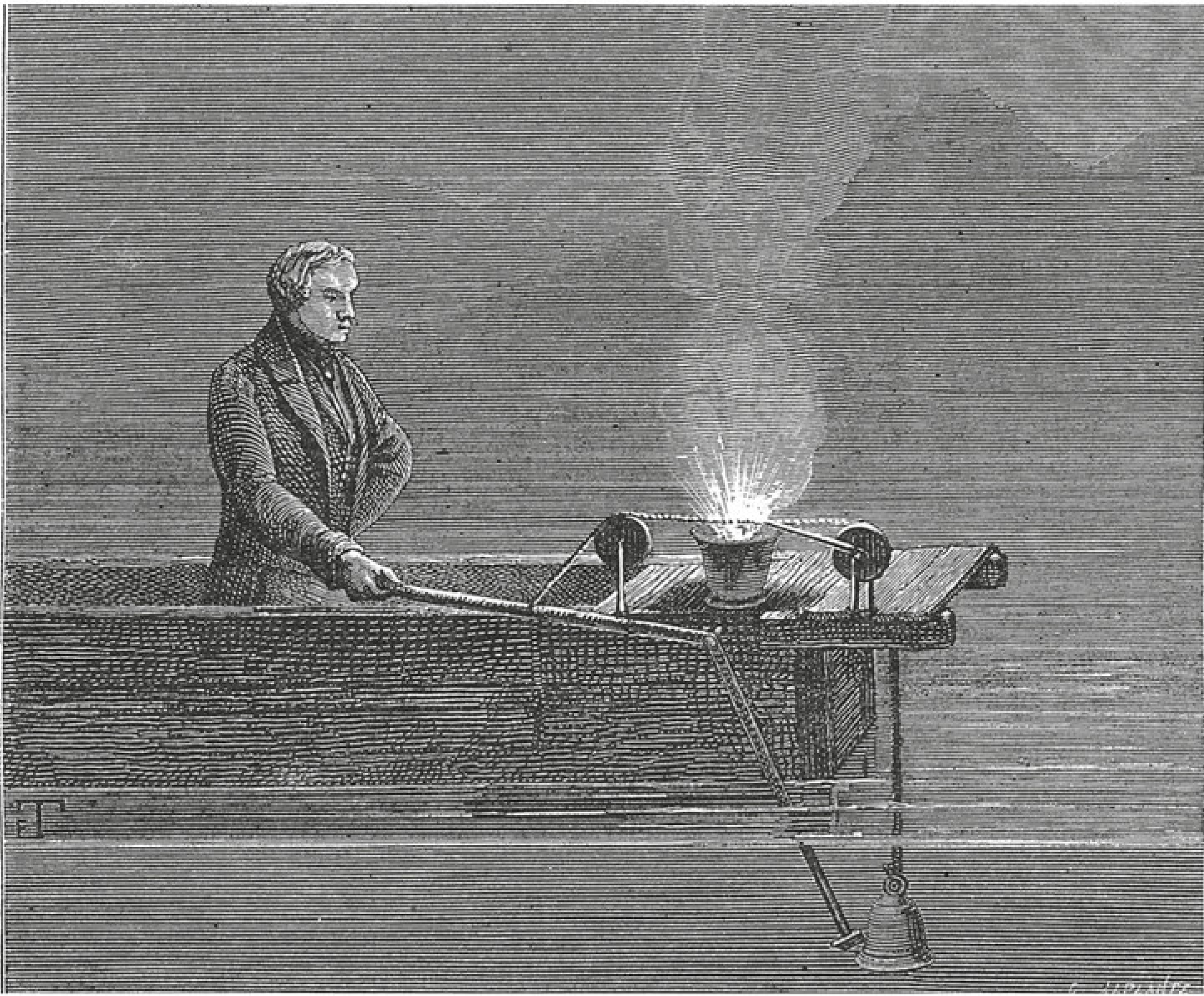
figuur 9 Hoe diep is de zee?

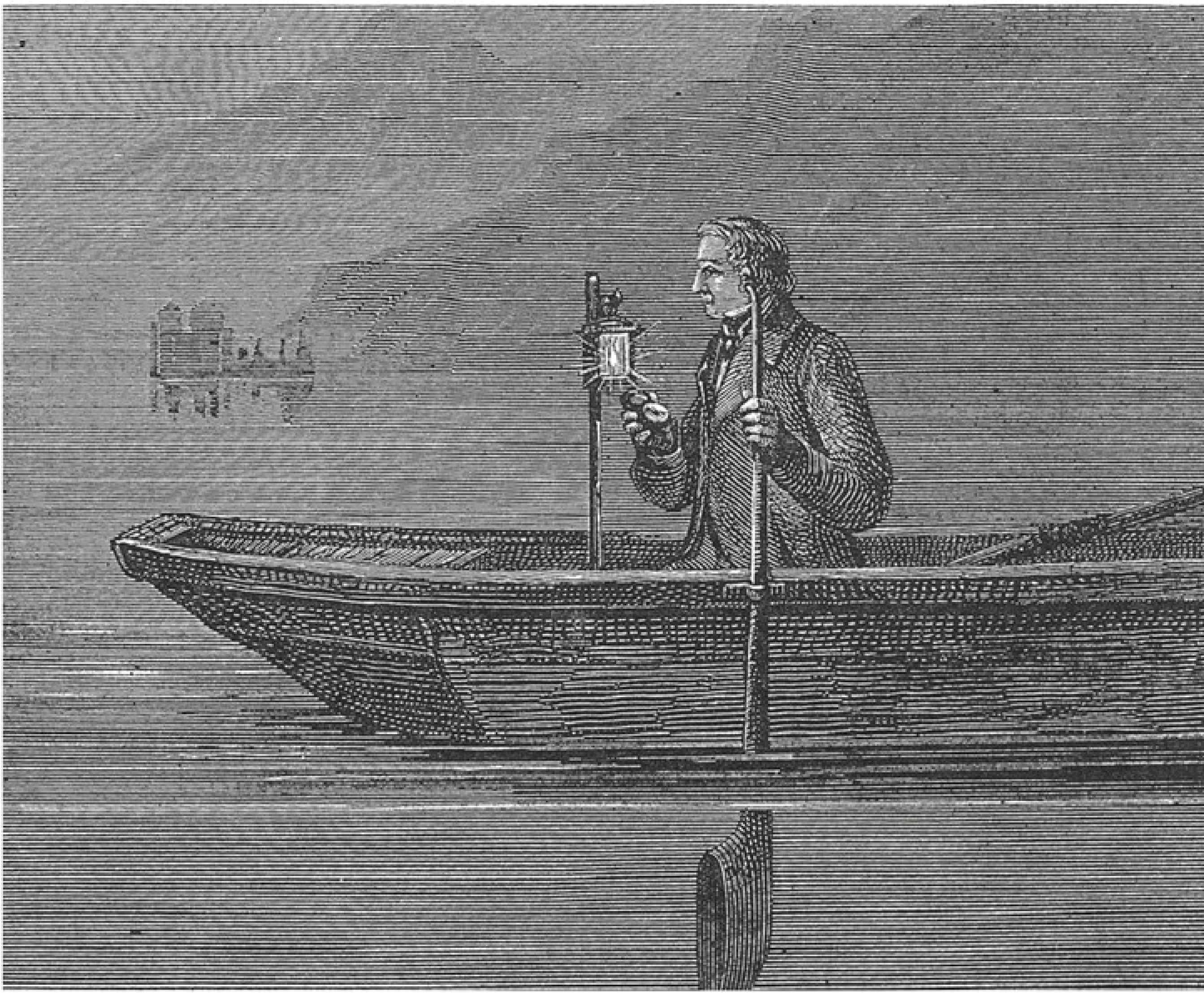
6 Een gebouw heeft betonnen muren van 50 cm dik. Mana zit op 3,0 m van de muur. Aan de buitenkant klopt iemand tegen de muur.
Bereken hoelang het geluid erover doet om Mana te bereiken.

7 In 1827 bepaalden de natuurkundigen Colladon en Sturm op het meer van Genève de snelheid van geluid in water. Ze gebruikten een bel en een buis. Met de bel konden ze onder water geluid maken en met de buis konden ze onder water naar het geluid luisteren. Tegelijk met de tik op de bel werd er een lichtflits gegeven (figuur 10). Ze maten dat het geluid van de bel er 9,3 s over deed om een afstand van 13,4 km onder water af te leggen.

a Waarom hoefden ze geen rekening te houden met de tijd die het licht erover doet om hen te bereiken?
b Bereken welke waarde ze voor de geluidssnelheid in water vonden.
c De geluidssnelheid hangt af van de temperatuur van het water.
Wat was de temperatuur van het water van het meer ongeveer? Gebruik tabel 2.

figuur 10 Colladon en Sturm aan het werk.





tabel 2 De geluidssnelheid in water bij verschillende temperaturen.

temperatuur water (°C)	geluidssnelheid (m/s)
0	1403
20	1484
40	1529
60	1540
80	1555

8 Je kijkt naar een sciencefictionfilm. In de film wordt een ruimteschip getroffen door het laserkanon van agressieve aliens. Je kijkt mee met de aliens en hoort het ruimteschip ontploffen met een harde knal.
Wat klopt hier niet?

9 Mensen kunnen met hun spraakorgaan allerlei geluiden maken.
Waar ontstaat het geluid:

a als je fluit?
b als je kucht?
c als je de klank ‘ssss’ maakt?
d als je de letters ‘ee’ uitspreekt?

10 Harmen is gefilmd tijdens een spreekbeurt. Als hij het filmpje bekijkt, is hij niet blij met wat hij hoort. “Mijn stem klinkt heel anders dan ik hem zelf hoor als ik praat,” moppert hij.
Hoe komt het dat je stem anders klinkt als je hem op een opname hoort?

★ 11 Als je heliumgas inademt en daarna praat, klinkt je stem heel hoog. Je stem lijkt dan een beetje op die van Donald Duck.
Leg uit met welke eigenschap van helium dit te maken kan hebben.

★ 12 Er is een duidelijk verschil tussen de geluidssnelheid in vloeistoffen en die in gassen.

a Welk verschil is dat? Gebruik tabel 1.
b Verklaar dit verschil met het deeltjesmodel van hoofdstuk 3 Water.
c In welke soort stoffen is de geluidssnelheid het grootst? Gebruik tabel 1.
gassen / vaste stoffen / vloeistoffen


Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA SUPERSONISCHE VLIEGTUIGEN

13 Beantwoord de volgende vragen.

a Leg uit wat supersonisch betekent
b De knal die je hoort als een vliegtuig de geluidssnelheid bereikt, is erg hard. Veel harder dan het geluid van de motoren of van de lucht die langs het vliegtuig stroomt. Leg uit hoe dit komt.

14 Op 14 oktober 2012 was Felix Baumgartner de eerste mens die met een valbeweging een supersonische snelheid bereikte. Hij sprong vanuit een heliumballon op 39 km hoogte. Met een topsnelheid van 1358 km/h haalde hij 1,25 Mach, wat betekent dat hij 1,25 keer zo snel ging als het geluid.
Bereken de geluidssnelheid bij Baumgartners val. Geef je antwoord in m/s.

15 Als een vliegtuig versnelt en daardoor met supersonische snelheid gaat vliegen, wordt ook wel gezegd dat het vliegtuig door de geluidsbarrière gaat. De geluidsbarrière is dus precies de grens tussen niet en wel supersonisch vliegen. Kira zegt: “De geluidsbarrière is bij een vliegtuig precies 343 m/s.”
Leg uit waarom Kira geen gelijk heeft.

2 Toonhoogte en frequentie

LEERDOELEN

8.2.1 Je kunt de drie factoren benoemen die van invloed zijn op de hoogte van de toon die een snaar maakt.
8.2.2 Je kunt uitleggen wat frequentie, trillingstijd en golflengte zijn.
8.2.3 Je kunt in een oscilloscoopbeeld de trillingstijd van een toon bepalen.
8.2.4 Je kunt berekeningen maken met trillingstijd en frequentie.
8.2.5 Je kunt het frequentiebereik benoemen van het menselijk gehoor.
8.2.6 Je kunt uitleggen wat ultrasoon geluid is.
EXTRA 8.2.7 Je kunt uitleggen hoe noise cancelling werkt.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN LEERDOELEN						
	8.2.1	8.2.2	8.2.3	8.2.4	8.2.5	8.2.6	8.2.7	5.2.2*
Onthouden	3a	1a, 2			1bc		12a	
Begrijpen	3b, 4abc	6d	6a, 8b, 9a			11a	12b, 13ab	10a
Toepassen			6b	5, 6c, 8b		11b	12cd	
Analyseren				7, 8a, 9bc, 10bc			12e, 13c	

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

Als je een geluid wilt beschrijven, kun je verschillende woorden gebruiken. Vaak hebben die woorden met de toonhoogte te maken. Je kunt bijvoorbeeld zeggen dat een kapotte luidspreker piept (een hoge toon maakt), bromt (een lage toon maakt) of zoemt (tussen hoog en laag in). Blijkbaar is de toonhoogte een belangrijke eigenschap van het geluid.

SNAARINSTRUMENTEN

PROEF 3

Snaren worden gebruikt in allerlei muziekinstrumenten. Een viool heeft bijvoorbeeld vier snaren, een gitaar heeft er zes en een piano heeft er meer dan tweehonderd. Als je zo'n snaar in trilling brengt, geeft hij een toon: een geluid met een bepaalde toonhoogte.

De hoogte van de toon die een snaar produceert, hangt af van drie factoren:
1 de dikte van de snaar: hoe dikker de snaar, hoe lager de toon;
2 de lengte van de snaar: hoe langer de snaar, hoe lager de toon;
3 de spanning van de snaar: hoe lager de spanning, hoe lager de toon.

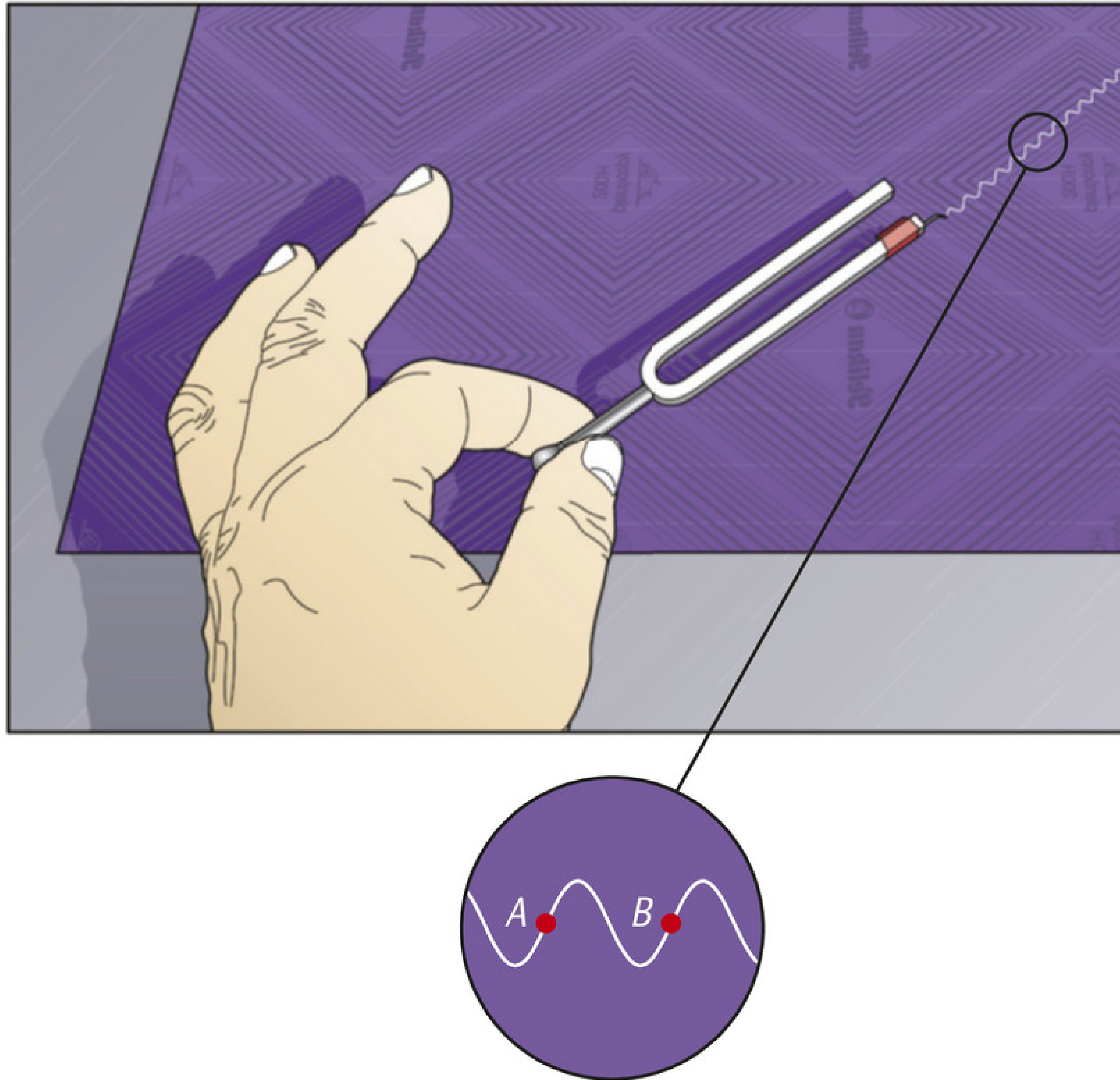
Een snaarinstrument kun je **stemmen** door de snaren de juiste spanning te geven. Voor het bepalen van de juiste toonhoogte kun je een stemvork of een elektronisch stemapparaat gebruiken.

FREQUENTIE

PROEF 4

Een stemvork is een metalen 'vork' met twee stevige 'benen'. Als je een tik geeft tegen een stemvork, gaan de 'benen' (onzichtbaar) trillen. Ze bewegen in één seconde steeds even vaak heen en weer. Je kunt deze beweging onderzoeken met een stemvork met een scherp haakje (schrijfstift). Je slaat de stemvork aan en trekt de punt van het haakje over een plaat met een laag roet. Je ziet dan een spoor van trillingen ontstaan.

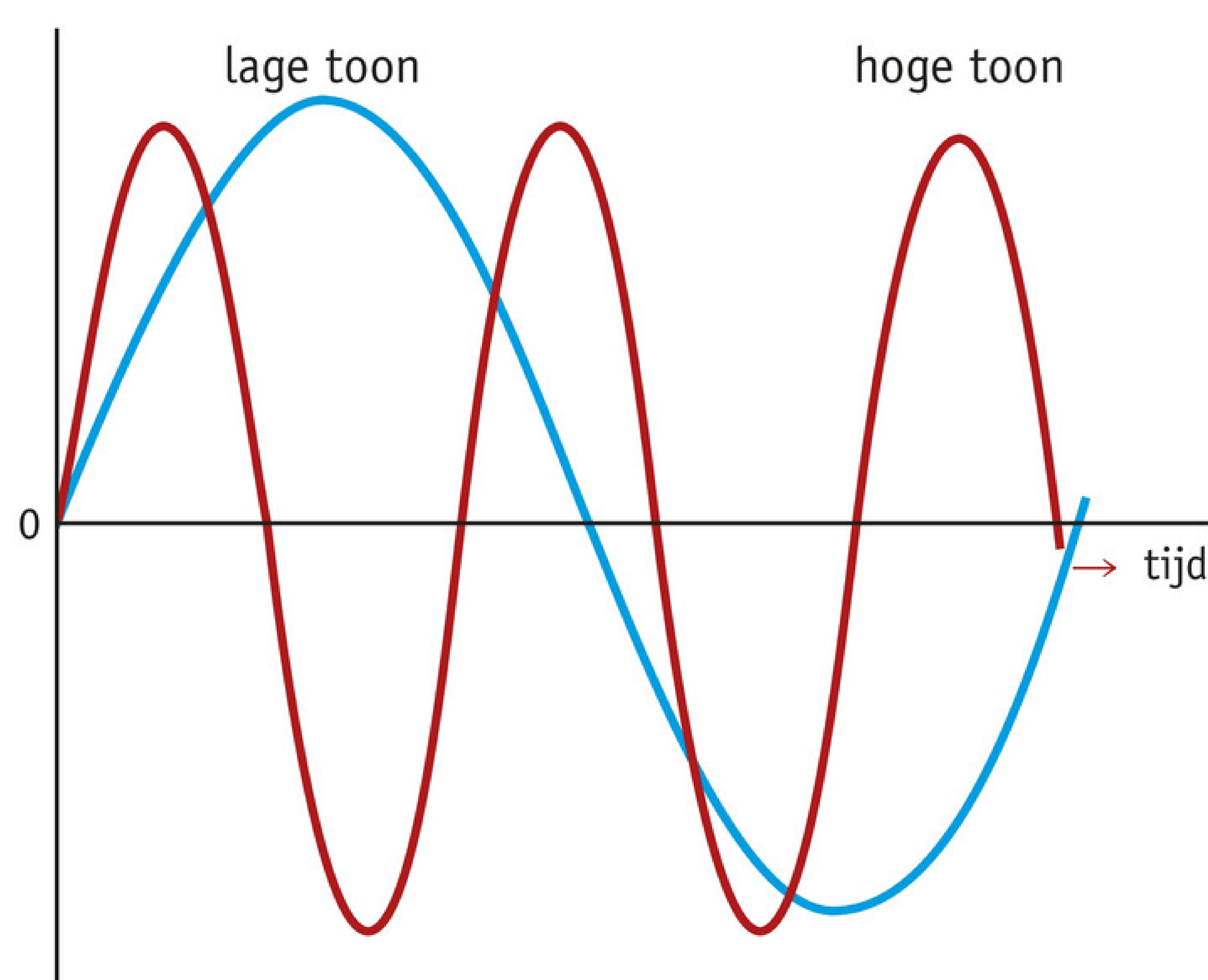
In figuur 1 zie je een stukje van zo'n spoor. Tussen A en B heeft het been waaraan het haakje zit één volledige trilling uitgevoerd. Als je de stemvork met het haakje precies één seconde over de plaat trekt, zie je een groot aantal trillingen. Als je ze telt, weet je hoe groot het aantal trillingen per seconde is. Dit is de **frequentie** *f* van de trilling. De *f* komt van het Latijnse *frequens* = *talrijk, druk bezocht* of *herhaaldelijk*.



figuur 1 Zo kun je de trilling van een stemvork zichtbaar maken.

De frequentie wordt gemeten in hertz (Hz). Als de frequentie 128 Hz is, bewegen de benen van de stemvork 128 keer per seconde heen en weer. Hoe groter de frequentie, des te hoger is de toon die je hoort. Een stemvork van 440 Hz geeft bijvoorbeeld een hogere toon dan een stemvork van 128 Hz.

Of je een toon of geluid hoog of laag vindt klinken is natuurlijk subjectief, maar er is wel een verband: als de frequentie toeneemt, klinkt een geluid hoger. Zo heeft een hoog klinkende piccolo (een kleine fluit) ook een heel grote frequentie met duizenden trillingen per seconde. Het geluid van een tuba daarentegen klinkt heel laag en heeft ook een heel kleine frequentie. In figuur 2 zie je de trilling van twee tonen, waarbij de hoge toon tweeëneenhalf maal zo hoog is als de lage.



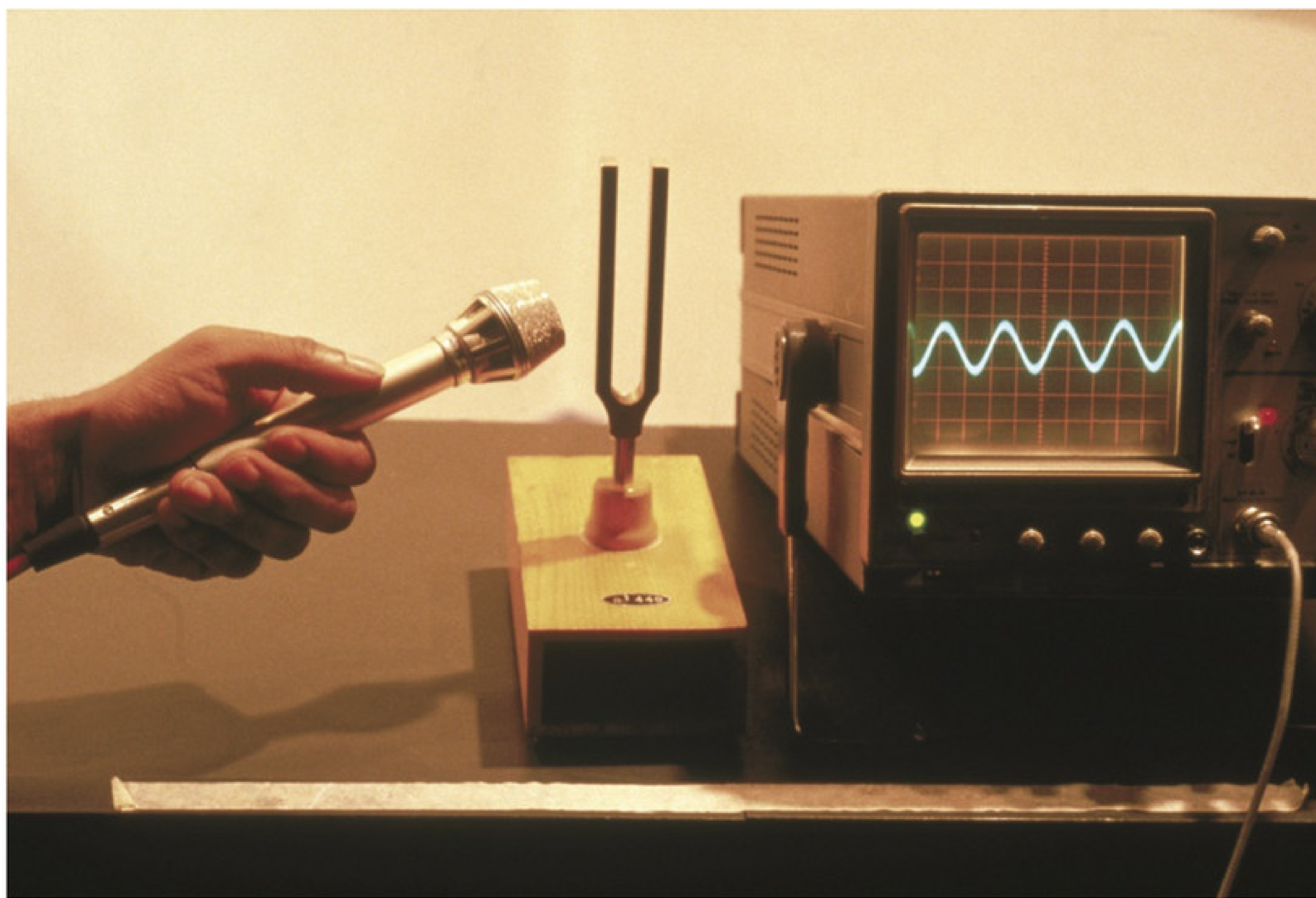
figuur 2 Een hoge toon heeft meer trillingen per seconde dan een lage toon.

TRILLINGSTIJD EN GOLFLENGTE

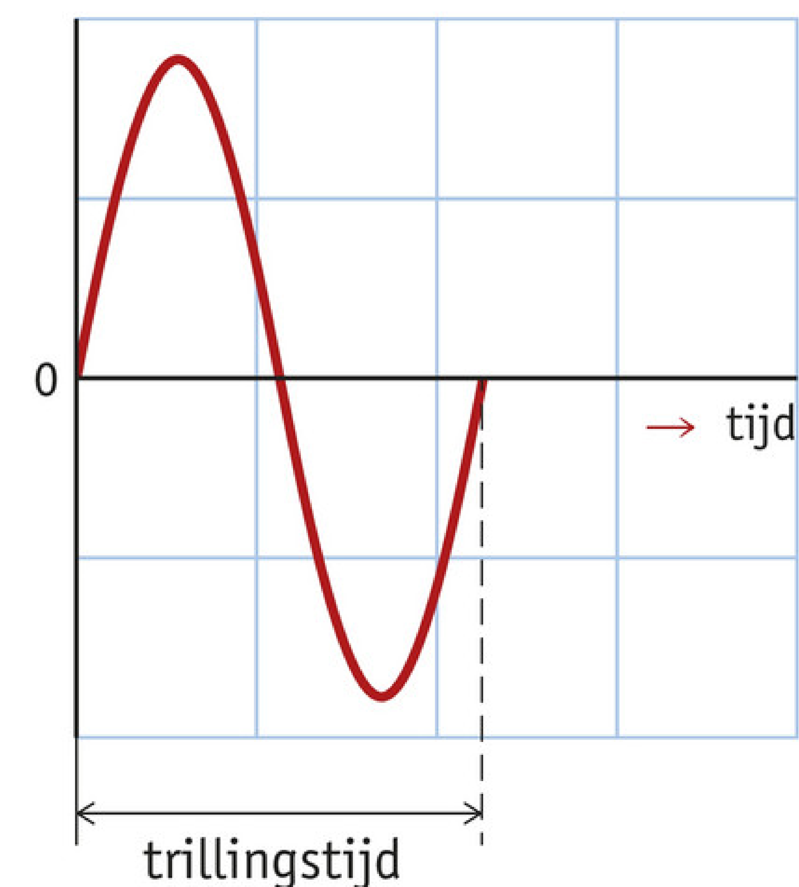
PROEF 5

Met de opstelling van figuur 3 kun je geluidsgolven onderzoeken. De **microfoon** 'vertaalt' de drukveranderingen in de lucht in een elektrisch signaal. De **oscilloscoop** (van het Latijnse *oscillare = schommelen*) geeft dit signaal vervolgens weer op het scherm. Er zijn ook programma's die van je computer, tablet of telefoon een oscilloscoop maken.

Op het scherm van de oscilloscoop is een assenstelsel aangebracht. Langs de horizontale as is de tijd uitgezet. Met een knop op de oscilloscoop kun je de tijdschaal instellen. Dat heet: een **tijdbasis** kiezen. In figuur 3 is de tijdbasis ingesteld op 1 ms/div. Dat betekent dat elk vakje één milliseconde 'breed' is. De tijd die voor één volledige trilling nodig is, wordt de **trillingstijd** (*T*) genoemd. In figuur 4 is de trillingstijd in een grafiek aangegeven.

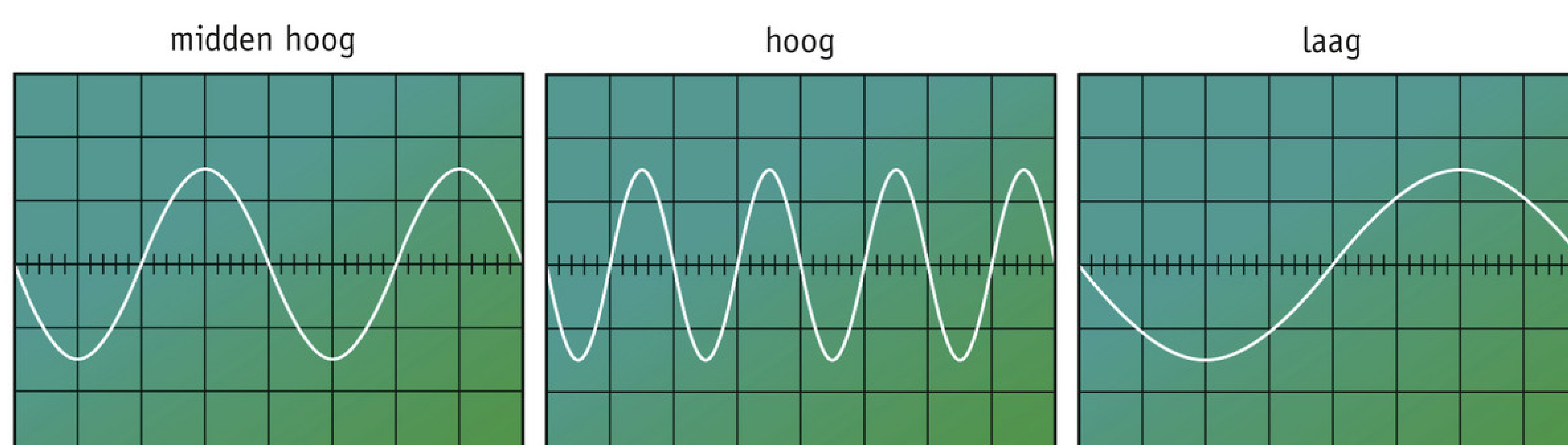


figuur 3 Zo kun je de trillingstijd van een stemvork bepalen.



figuur 4 De trillingstijd.

Als je verschillende tonen van een gitaar onderzoekt, zie je dat het oscilloscoopbeeld er anders uitziet voor verschillende toonhoogten (figuur 5).



figuur 5 Drie verschillende tonen. De tijdbasis is steeds 1 ms.

VOORBEELDOPDRACHT 1

Bepaal de trillingstijd van de hoge toon in figuur 5.

gegevens op de oscilloscoop zijn 4 trillingen te zien
het oscilloscoopscherm is 8 vakjes breed
een vakje komt overeen met 1 ms

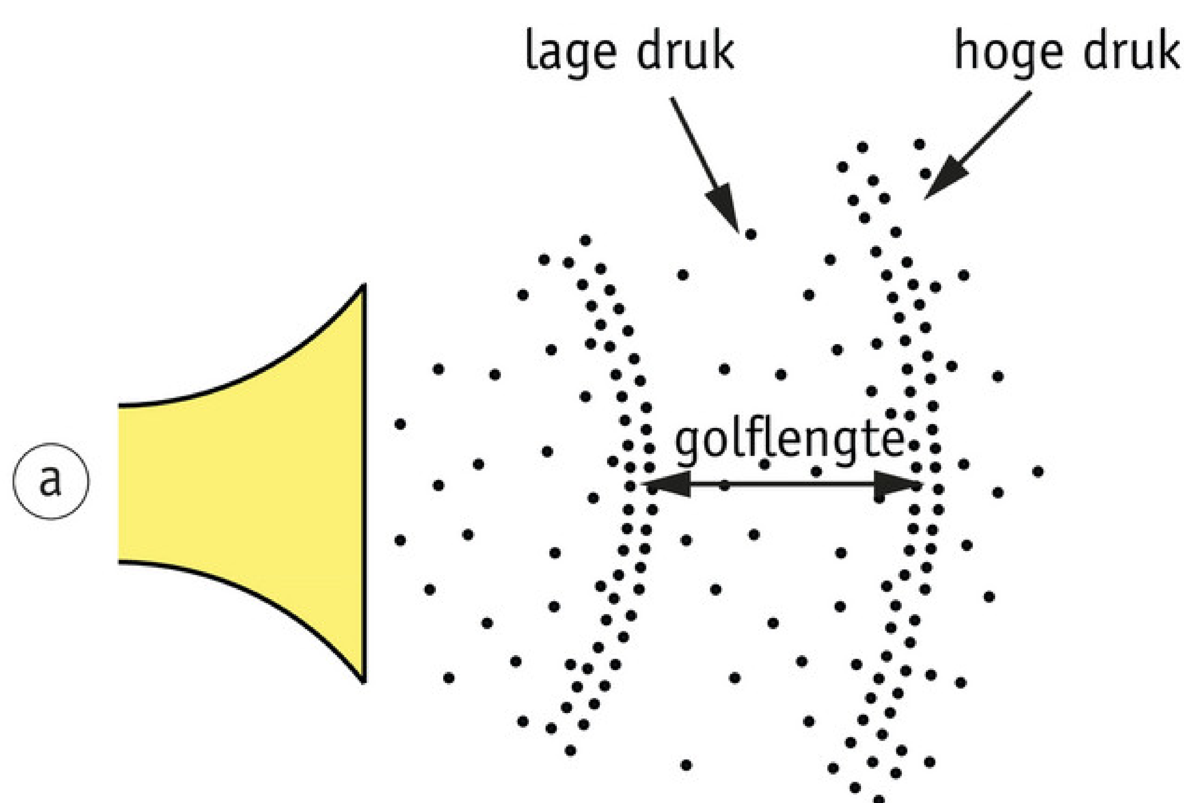
gevraagd trillingstijd = ?

uitwerking 8 vakjes komen overeen met 8 ms
4 trillingen duren 8 ms
één trilling duurt dus $\frac{8}{4}$ = 2 ms (oftewel 0,002 s)

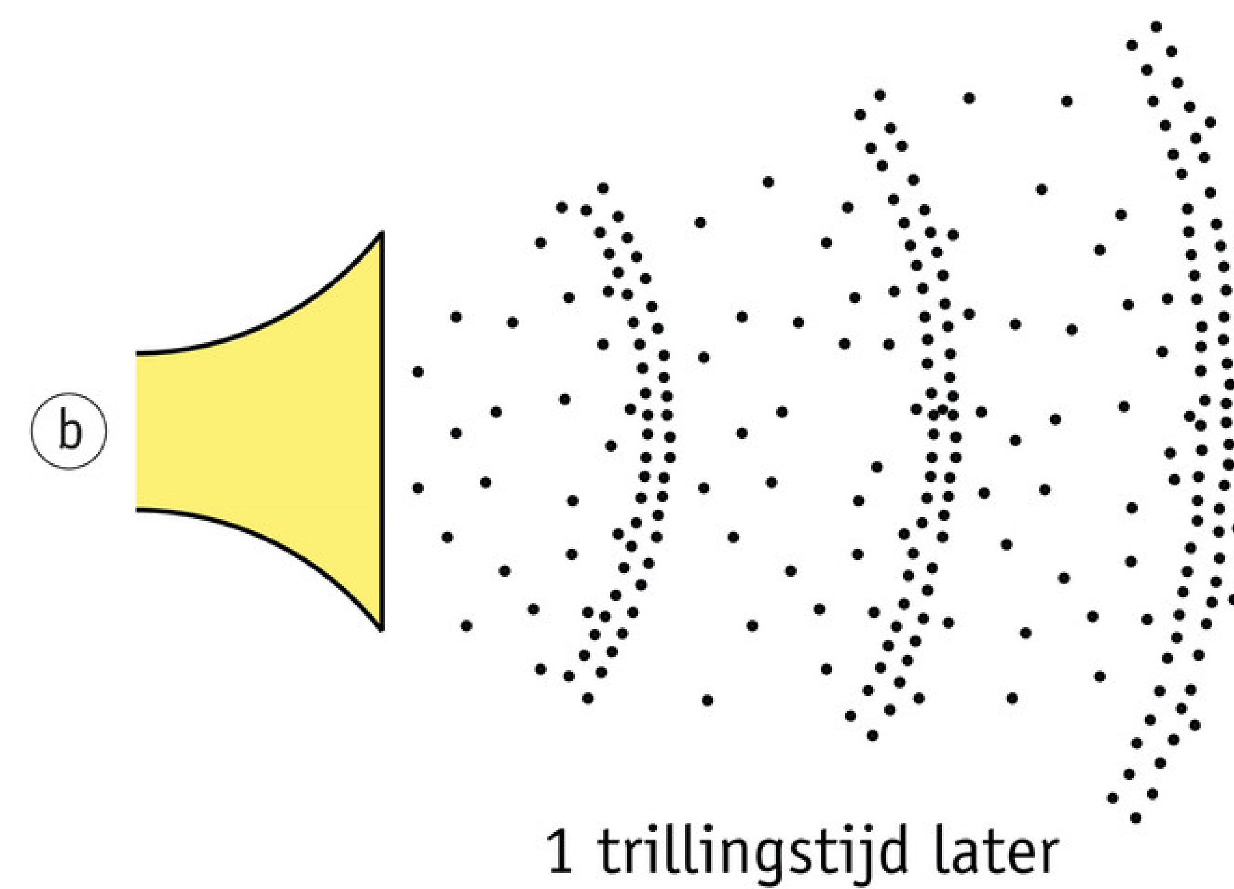
In één trillingstijd gaat de conus van een luidspreker één keer naar voren en één keer naar achteren. De luidspreker produceert zo eerst een gebied met hogere druk en daarna een met lagere druk.

Die golf verspreidt zich dan in de ruimte. De lengte van een gebied met hogere druk en met lagere druk samen is de **golflengte** (figuur 6). Symbool voor de golflengte is de Griekse letter lambda λ. Bij een lage toon is die golflengte groter dan bij een hoge toon. Een hoge toon heeft dus een grote frequentie en een kleine golflengte.

figuur 6a Geluidsgolven die worden veroorzaakt door een trompet.



figuur 6b Dezelfde geluidsgolven, maar dan korte tijd later.



TRILLINGSTIJD EN FREQUENTIE

Als je de trillingstijd kent, kun je de frequentie berekenen. Als de trillingstijd 0,1 seconde is, gaan er 10 trillingen in 1 s. De frequentie is dan 10 Hz. Als de trillingstijd 0,01 s is, gaan er 100 trillingen in 1 s. De frequentie is dan 100 Hz. Et cetera.

Je kunt de frequentie dus uitrekenen met de formule:

$$\textit{frequentie} = \frac{1}{\text{trillingstijd}}$$

Of in symbolen:

$$f = \frac{1}{T}$$

Hierin is:

- f de frequentie in hertz (Hz);
- T de trillingstijd in seconde (s).

VOORBEELDOPDRACHT 2
Bereken de frequentie van de hoge toon in figuur 5.

gegevens T = 2 ms = 0,002 s

gevraagd f = ?

uitwerking $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,002} = 500$ Hz

ULTRASOON GELUID

Geluiden met een heel grote of een heel kleine frequentie kun je niet horen. De meeste mensen van jouw leeftijd horen tonen tussen 20 en 20 000 Hz (20 kHz). Je zegt dat deze tonen binnen het **frequentiebereik** van je gehoor liggen. Als je ouder wordt, verandert het frequentiebereik van je gehoor. Vooral hoge tonen kun je dan minder goed horen.

Geluid met een frequentie groter dan 20 000 Hz wordt **ultrasoon** geluid genoemd (van het Latijnse *ultra = aan de andere kant* of *verder dan*; *sonus = geluid*). Mensen kunnen dit geluid niet horen, maar sommige diersoorten wel. Honden horen bijvoorbeeld zonder moeite een ultrasone fluittoon van 35 000 Hz. Vleermuizen en dolfijnen maken regelmatig ultrasone geluiden. Door te luisteren naar de echo's van deze geluiden kunnen ze hun omgeving waarnemen. Vleermuizen sporen op deze manier insecten op (figuur 7).



figuur 7 Een vleermuis jaagt met behulp van geluid.

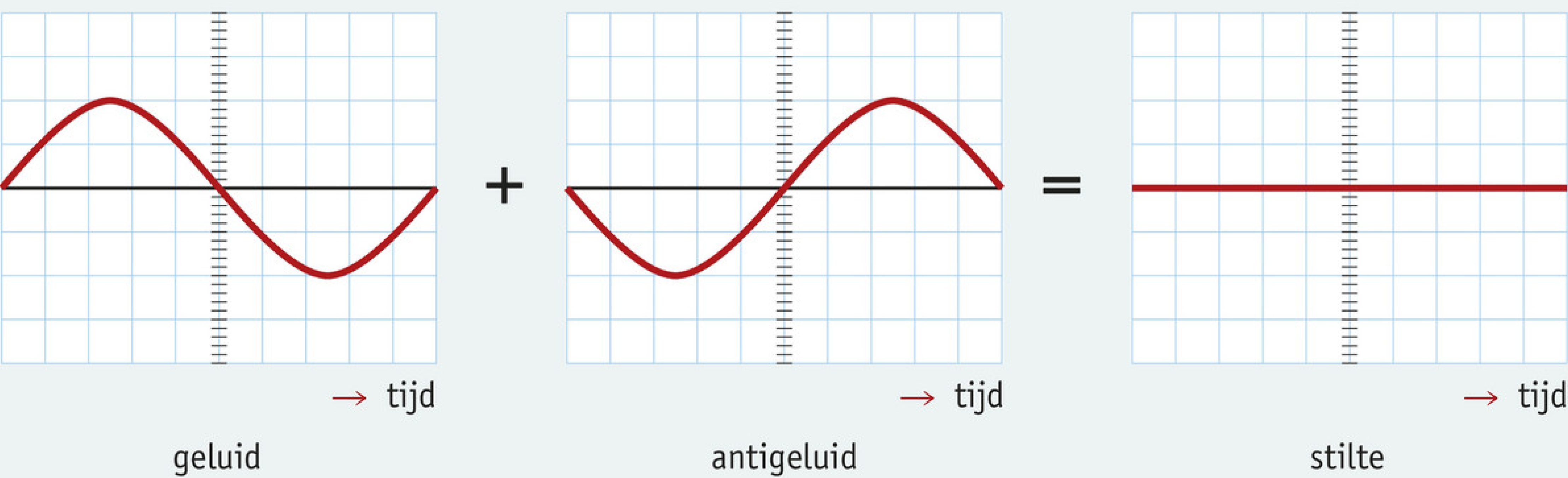
In ziekenhuizen wordt ultrasoon geluid gebruikt om echo's te maken, waarmee je bijvoorbeeld bij een zwangere vrouw het kind in de baarmoeder kunt zien. In het lab of in de industrie wordt ultrasoon geluid gebruikt om (metalen) voorwerpen schoon te maken. De geluidsgolven gaan hierbij door een bak met water waarin die voorwerpen liggen. Tandartsen gebruiken ultrasoon geluid bij een wortelkanaalbehandeling of om tandsteen te verwijderen. Vliegtuigmonteurs kunnen met dit geluid scheurtjes in vliegtuigonderdelen opsporen.

 **Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.**

EXTRA NOISE CANCELLING

Een noise cancelling koptelefoon dempt geluiden uit de omgeving, waardoor je muziek of een podcast beter kunt horen dan met een normale koptelefoon. Deze koptelefoons zijn een stuk duurder dan normale koptelefoons en ook merk je dat de batterij eerder leeg is. Dat komt doordat er gebruikgemaakt wordt van antigeluid.

In figuur 8 zie je hoe antigeluid werkt. Links staat de grafiek van een toon uit de omgeving. De koptelefoon maakt nu een trilling die precies tegengesteld is. Als je de twee grafieken bij elkaar optelt, kom je telkens op nul uit. De twee geluiden heffen elkaar op.



figuur 8 De werking van antigeluid.

Een noise cancelling koptelefoon kun je ook gebruiken als je stilte nodig hebt om je te concentreren. Het omgevingsgeluid wordt razendsnel opgevangen en er wordt antigeluid geproduceerd om dat geluid uit te doven. Bij het geluid in figuur 8 is dat eenvoudig omdat het een zuivere toon is, dus maar één frequentie. Maar de meeste geluidsbronnen produceren geluid met allerlei frequenties tegelijk. Dan is het maken van het juiste antigeluid lastig. Toch lukt dat steeds beter, als het geluid maar regelmatig is. Er zijn nu ook vliegtuigen en auto's met antigeluid.

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Wat wordt bedoeld met 'de frequentie van een trilling'?
b Wat wordt bedoeld met 'het frequentiebereik van je gehoor'?
c Wat is het frequentiebereik van jonge mensen met een gewoon gehoor?

2 Vul tabel 1 verder in.

tabel 1 Grootheden en eenheden.

grootheid	symbool van de grootheid	eenheid	symbool van de eenheid
frequentie			Hz
trillingstijd	*T*		
golflengte			

3 Hoe verandert de toonhoogte van een gitaarsnaar als de gitarist:

a de snaar minder strak spant?
b zijn vinger op de snaar zet?

4 Er zijn allerlei soorten snaarinstrumenten.

a Wat is het verband tussen de grootte van een snaarinstrument en de hoogte van de tonen die je ermee kunt maken?

b Noteer twee instrumenten waarbij je het verband van opdracht 4a duidelijk kunt zien en horen.

c Op veel snaarinstrumenten zijn alle snaren even lang. Toch klinkt de ene snaar lager dan de andere.
Schrijf twee mogelijke oorzaken op.

5 Bereken.

f = 50 Hz T = ... s

f = 440 Hz T = ... ms

T = 50 ms f = ... Hz

T = 0,25 ms f = ... kHz

6 Op een oscilloscoop worden achtereenvolgens drie tonen afgebeeld: a, b en c (figuur 9). Bij de schermen staat steeds de tijdbasis vermeld.

a Bekijk figuur 9a. Vul in.

Elk vakje op het scherm staat voor .... ms.

Eén volledige trilling is .... vakjes breed.

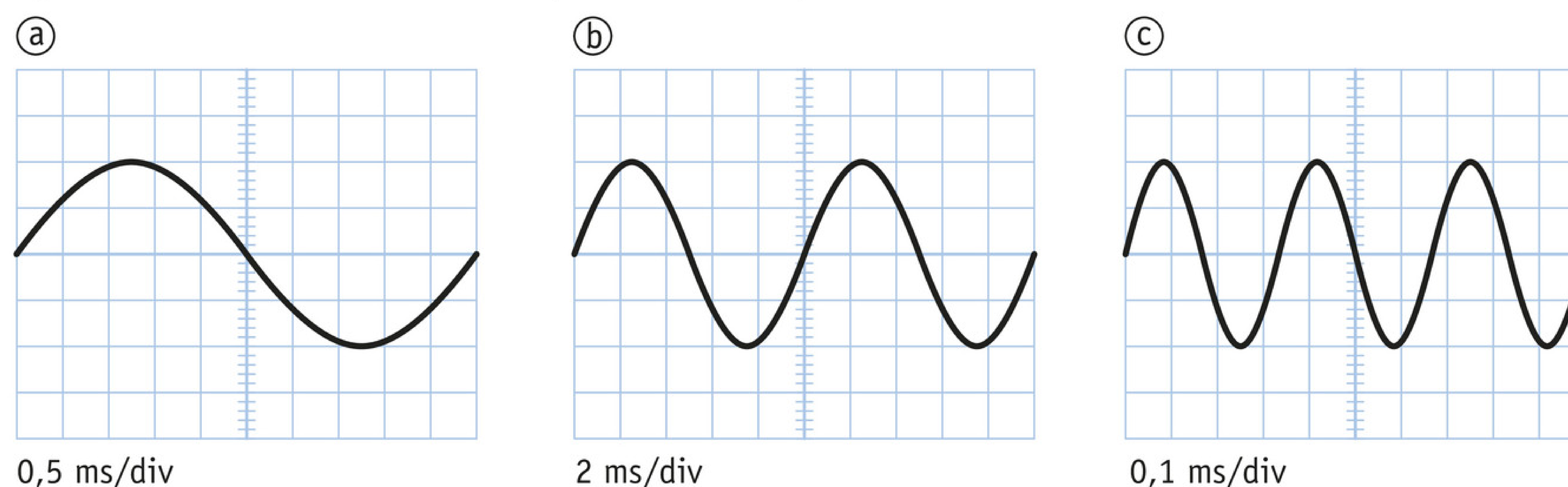
De trillingstijd is dus .... × .... ms = ... ms.

b Bepaal de trillingstijd van de tonen b en c op de manier van voorbeeldopdracht 1.

c Bereken de frequenties van de tonen a, b en c.

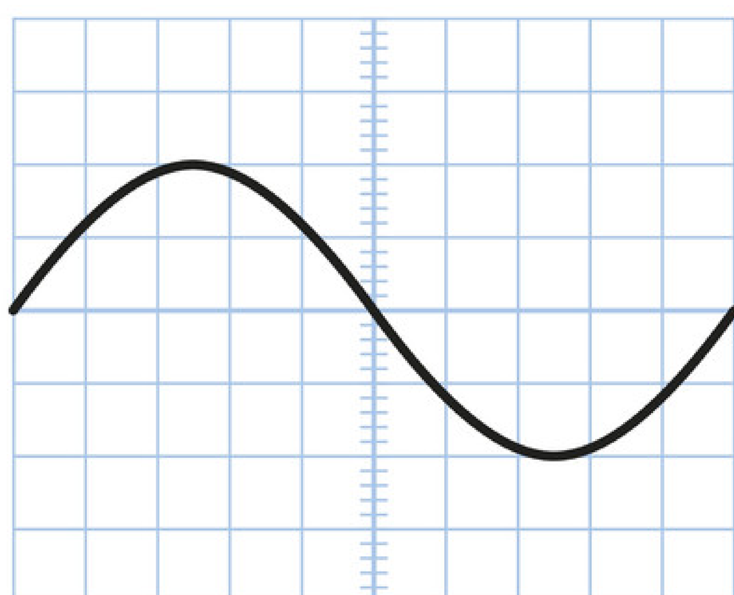
d Welk oscilloscoopbeeld laat een hoge pieptoon zien?

figuur 9 Drie verschillende tonen op een oscilloscoopscherm.



7

Sanne bekijkt twee tonen op een oscilloscoop, met dezelfde tijdbasis. In figuur 10 zie je hoe de oscilloscoop de eerste toon weergeeft. De tweede toon heeft een frequentie die twee keer zo groot is.
Schets in de figuur hoe de oscilloscoop deze toon weergeeft.

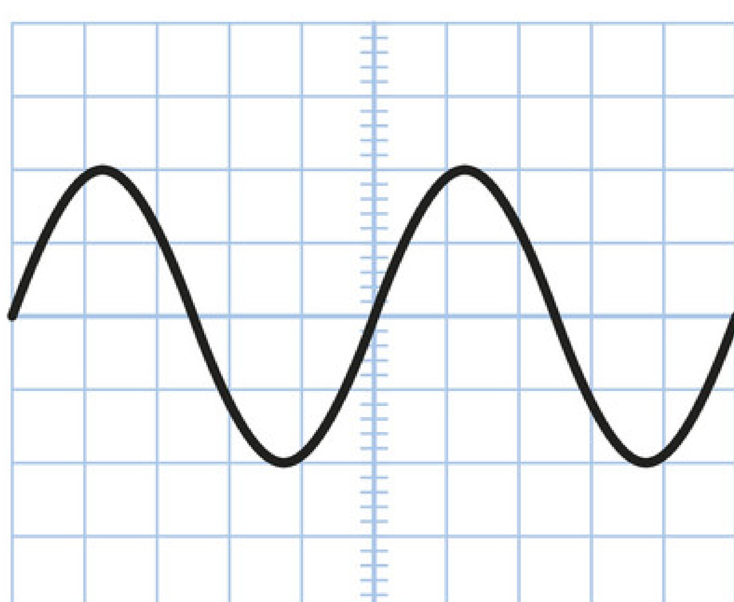


figuur 10 Hoe ziet een toon eruit die één octaaf hoger is?

8

Aya test een geluidsinstallatie met verschillende testtonen. In figuur 11 zie je hoe een oscilloscoop een van de testtonen weergeeft. De tijdbasis is ingesteld op 0,2 ms/div.

a Bepaal de frequentie van deze testtoon.
b Hoeveel trillingen zal Aya op het scherm zien als zij de tijdbasis instelt op 1,0 ms/div?

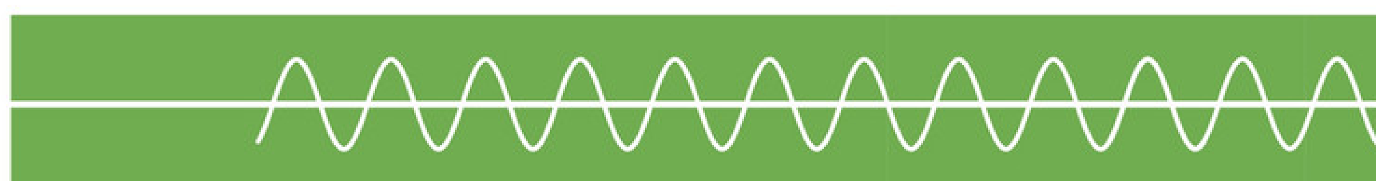


figuur 11 Het oscilloscoopbeeld van Aya.

★ 9

Kursat heeft een naald aan stemvork gemaakt. Vervolgens slaat hij de stemvork aan en trekt de naald over een plaat met roet. In figuur 12 is een stukje van de plaat op ware grootte afgebeeld. Het spoor van trillingen is 6,3 cm lang. De frequentie van de stemvork is 80 Hz.

a Hoeveel trillingen zijn er op de glasplaat te zien?
b In hoeveel tijd is dit stukje golfspoor getekend?
c Bereken met welke snelheid de stemvork over de glasplaat getrokken is.



figuur 12 Het spoor van een stemvork.

★ 10

In figuur 6 zie je dat de voorste golf in één trillingstijd een afstand van één golflengte aflegt.

a Geef de formule voor de snelheid van een bewegend voorwerp uit hoofdstuk 5 Bewegen.
b ‘Vertaal’ deze formule naar een formule voor de geluidssnelheid.
c Gebruik de formule van opdracht 10b om de golflengte te berekenen van een toon van 100 Hz in lucht.

11 Op plaatsen waar hangjongeren vaak voor overlast zorgen, worden soms kastjes opgehangen die een irritant, permanent geluid maken. Oudere mensen horen dat geluid niet.

a Leg uit of deze kastjes ultrasoon geluid produceren of niet.
b Hoe komt het dat oudere mensen geen last hebben van het geluid uit deze kastjes?

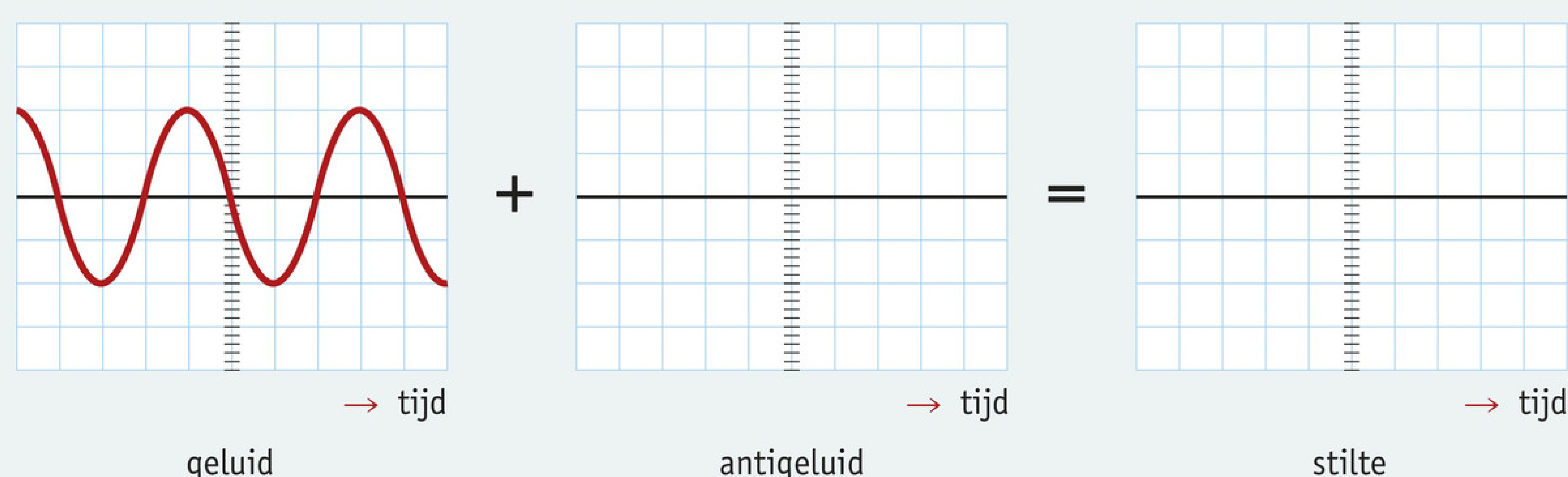


Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA NOISE CANCELLING

12 Beantwoord de volgende vragen.

a Geef twee voorbeelden van het gebruik van antigeluid.
b Leg uit hoe een noise cancelling koptelefoon werkt.
c In figuur 13 zie je de trillingsgrafiek van een toon uit de omgeving.
Teken in het midden van figuur 13 de trillingsgrafiek van het antigeluid dat de noise cancelling koptelefoon maakt.
d Teken rechts in figuur 13 de trillingsgrafiek van het geluid dat bij je oor aankomt.
e Leg uit waarom het belangrijk is dat het antigeluid niet te hard en ook niet te zacht is.



figuur 13 Antigeluid bij een noise cancelling koptelefoon.

13 Beantwoord de volgende vragen.

a Leg uit waarom de batterijen van een noise cancelling koptelefoon sneller leeg zijn dan de batterijen van een koptelefoon zonder noise cancelling.
b De motoren van vliegtuigen geven een goed voorspelbaar en niet zo ingewikkeld geluid. Dit is een van de redenen dat noise cancelling er werkt.
Waarom is het belangrijk dat het geluid goed voorspelbaar is?
c Noise cancelling werkt vooral goed bij lage tonen.
Leg uit waarom noise cancelling bij hoge tonen veel moeilijker is.

3 Geluidssterkte

LEERDOELEN

8.3.1 Je kunt uitleggen wat het verband is tussen de amplitude van een trilling en de geluidssterkte.

8.3.2 Je kunt beschrijven dat de gehoordrempel en de pijngrens afhangen van de frequentie.

8.3.3 Je kunt uitleggen wat het verschil is tussen de dB(A)- en de dB-schaal.

8.3.4 Je kunt berekeningen maken met het verband tussen geluidssterkte en het aantal geluidsbronnen.

8.3.5 Je kunt berekeningen maken met de geluidssterkte en de afstand tussen jezelf en een ‘puntvormige‘ of ‘lineaire’ geluidsbron.

EXTRA 8.3.6 Je kunt uitleggen hoe een audiogram wordt gemaakt.

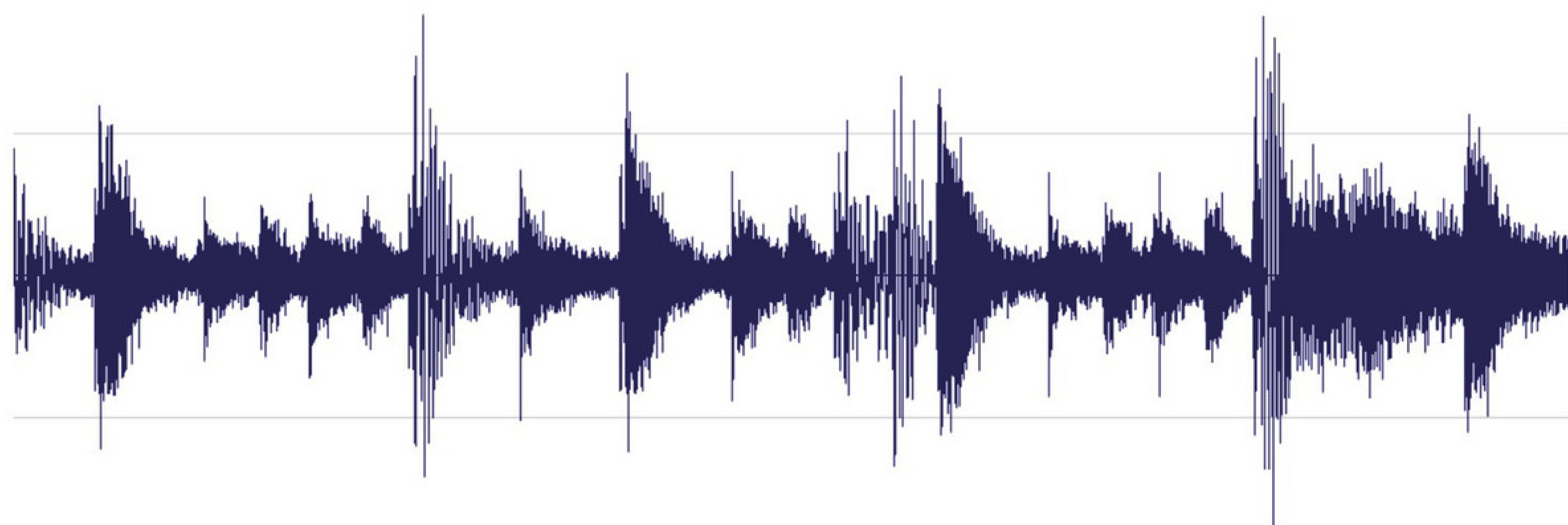
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN LEERDOELEN						
	8.3.1	8.3.2	8.3.3	8.3.4	8.3.5	8.3.6	8.2.2*
Onthouden		1c	1a				
Begrijpen	2b, 4a	1d, 3abcd, 6b	1b		7a, 8a	10ab, 11abc	2a
Toepassen	4b			5, 6a	7b, 8b, 9ab	10c, 11d, 12ab	
Analyseren				6c	9cde		

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

Het geluid staat bij een concert soms zo hard dat je het letterlijk kunt voelen. Als je er te lang blijft, kun je blijvende gehoorschade krijgen. Vooral de bastonen kunnen doordreunen tot in je maag. Daardoor kunnen ook dove mensen op de maat meedansen.

DE AMPLITUDE VAN EEN TRILLING

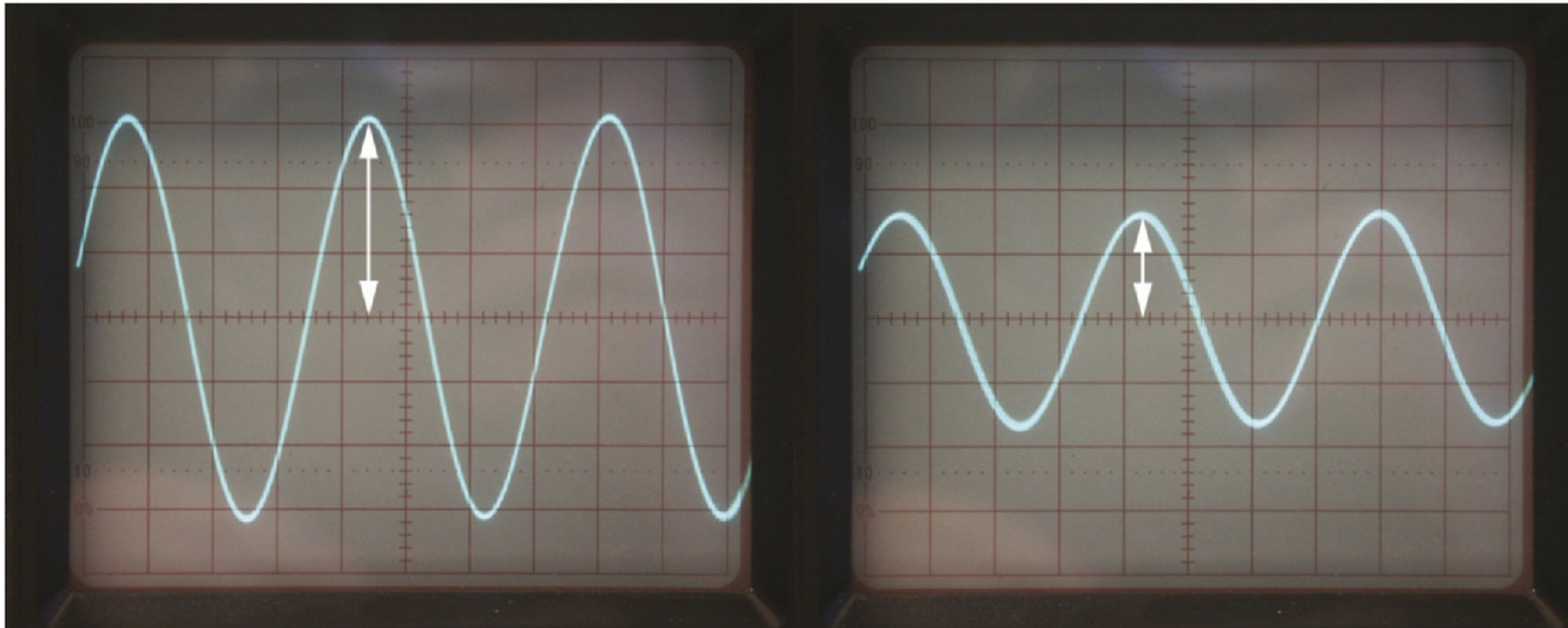
De *Amen break* is een *sample* (een kort muziekfragment) die in veel hiphopmuziek wordt gebruikt. De *sample* duurt iets meer dan vijf seconden, waarbij harde en minder harde slagen op de drum elkaar afwisselen. In figuur 1 zie je hoe een computer deze *sample* weergeeft. De **geluidssterkte** geeft aan hoe hard het geluid is dat door de geluidsbron wordt geproduceerd. De geluidssterkte wordt bepaald door de **amplitude** (van het Latijnse *amplitudo* = *grote omvang*). De amplitude wordt gemeten ten opzichte van het midden van de trilling. Ze wordt ook wel de maximale uitwijking ten opzichte van de nullijn in het midden genoemd. Hoe harder een geluid, hoe groter de amplitude. Als het geluid uitdooft, wordt de amplitude nul.



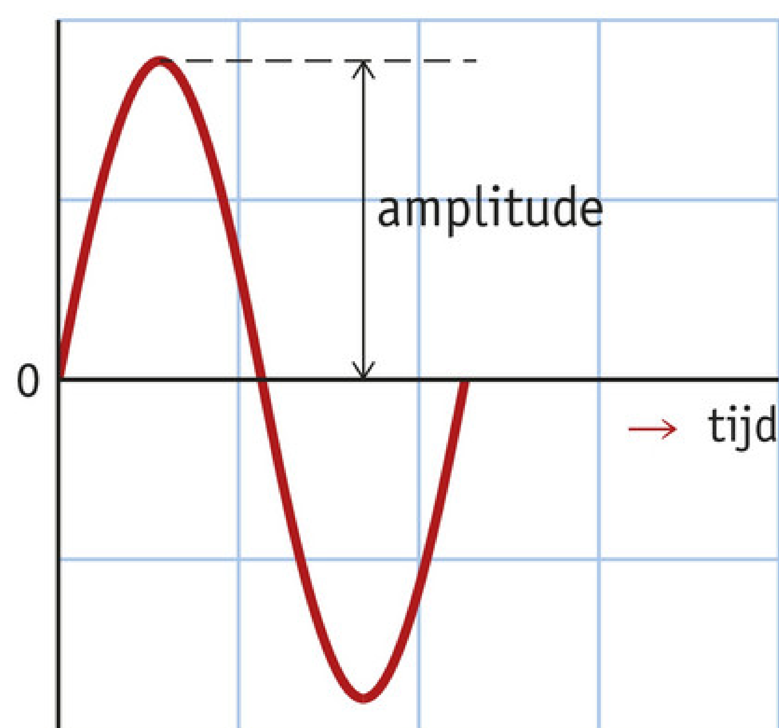
figuur 1 De *Amen break*.

Als een basluidspreker het geluid van een bassdrum laat horen, kun je de conus zien trillen. Die trilling wordt heviger als je het geluid harder zet. De drukveranderingen in de lucht worden daardoor ook groter.

Je kunt de drukverschillen onderzoeken met een oscilloscoop, waarop je een microfoon hebt aangesloten. In figuur 2 zie je twee oscilloscoopschermen. Beide tonen zijn gemaakt met een stemvork. Op de linker foto zie je een harde toon, op de rechter foto een zachte toon. In figuur 2 is de amplitude van de trillingen aangegeven. In figuur 3 is de amplitude in een grafiek aangegeven.



figuur 2 Een harde en een zachte toon; de amplitude is aangegeven met een dubbele pijl.



figuur 3 De amplitude.

DE DECIBELSCHAAL

De eenheid van geluidssterkte is decibel (dB). In tabel 1 zie je hoe groot de geluidssterkte in verschillende situaties is. Een toon met een frequentie van 1000 Hz en een geluidssterkte van 0 dB kun je net niet horen (of net wel, als je heel goede oren hebt). 0 dB betekent dus niet dat er helemaal geen geluid is.

Het apparaat waarmee je de geluidssterkte meet, wordt een geluidssterktemeter of **decibelmeter** genoemd (figuur 4). Decibelmeters worden bijvoorbeeld gebruikt door arbomedewerkers die controleren of het geluid in bedrijven niet boven de wettelijke norm komt. ‘Arbo’ staat voor arbeidsomstandigheden. In de Arbowet staan regels over veilig en gezond werken. Er zijn ook apps voor je telefoon waarmee je bijvoorbeeld op een muziekfestival het aantal decibel kunt meten (figuur 5).

tabel 1 De geluidssterkte in verschillende situaties.

voorbeeld	geluidssterkte (dB)
pijngrens: straalmotor op 25 m	140
startend straalvliegtuig op 50 m	130
toeterende auto op 2 m	120
betonboor op 1 m	110
helikopter op 30 m	100
passerende trein op 25 m	90
passerende scooter op 7,5 m	80
stofzuiger op 1 m	70
klas aan het werk	60
woonstraat overdag	50
koelkast op 1 m	40
fluisterende leerling	30
ruisende bladeren	20
ademende leerling	10
gehoordrempel	0



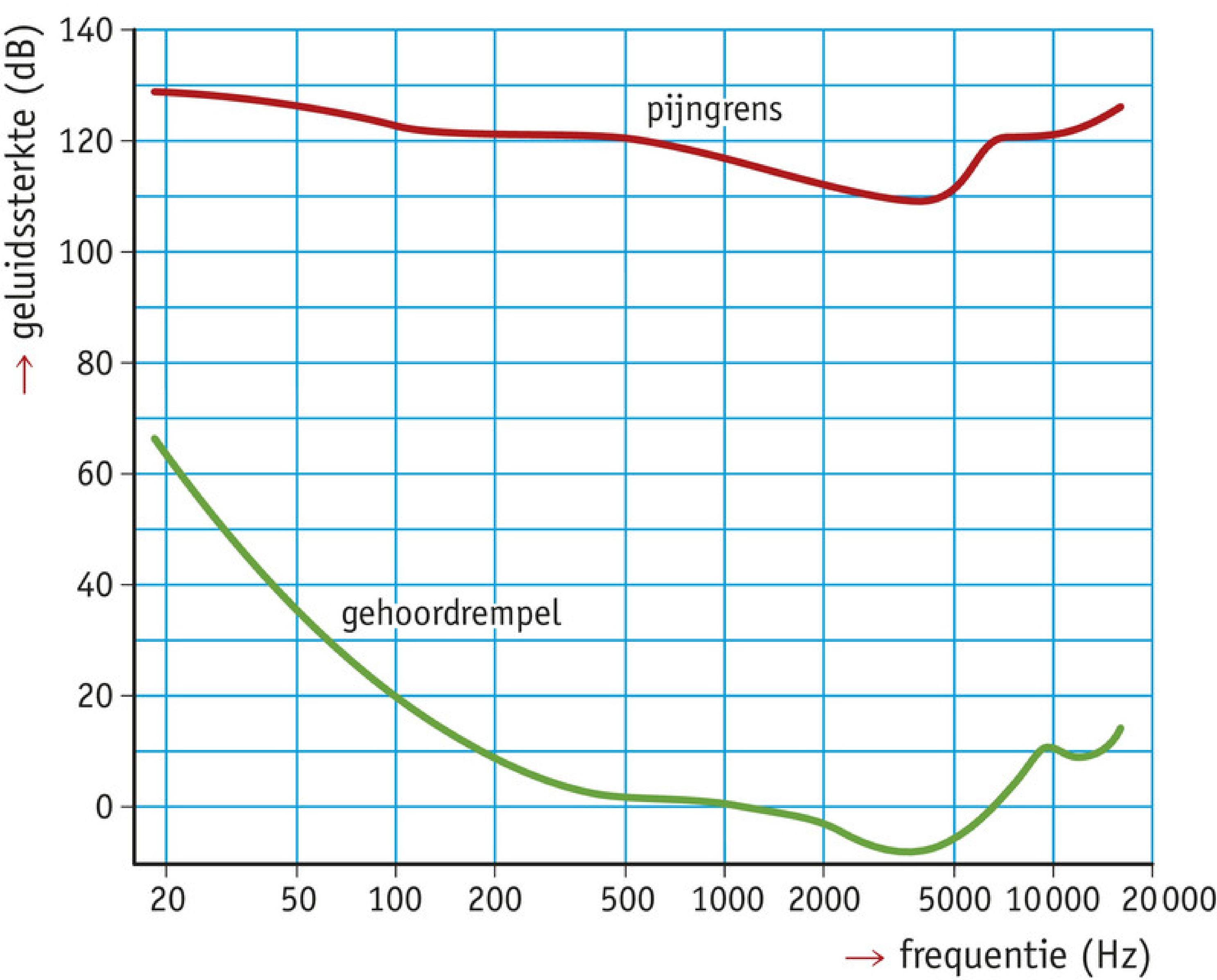
figuur 4 Een decibelmeter.



figuur 5 Een app waarmee je het aantal decibel kunt meten.

GEHOORDREMPEL EN PIJNGRENS

Onze oren zijn niet voor alle frequenties even gevoelig. Dat blijkt uit figuur 6. In deze grafiek is de **gehoordrempel** getekend. Dit is de geluidssterkte waarbij je het geluid net begint te horen. Je ziet dat deze gehoordrempel voor veel frequenties hoger ligt dan 0 dB.



figuur 6 De pijngrens en de gehoordrempel.

Uit de grafiek blijkt dat je gehoor het gevoeligst is voor de tonen in het midden van je frequentiebereik, zo rond 4000 Hz. Voor lage en erg hoge tonen is je gehoor lang niet zo gevoelig. Deze tonen lijken daardoor minder sterk dan ze in werkelijkheid zijn. Ook de **pijngrens** – de geluidssterkte waarbij je oren pijn beginnen te doen – ligt niet voor alle frequenties even hoog.

Omdat de gevoeligheid van je oren niet hetzelfde is voor alle frequenties, hebben de meeste decibelmeters een **A-filter**. Dit filter maakt de meter minder gevoelig voor kleine en erg grote frequenties, precies zoals je oren dat ook zijn. Als je het A-filter gebruikt, moet je de geluidssterkte opgeven met de eenheid dB(A).

Bij tonen tussen 500 en 10 000 Hz verschillen de dB(A)-schaal en de dB-schaal nauwelijks van elkaar. Je oren zijn voor deze frequenties het gevoeligst. Dit zijn de frequenties die belangrijk zijn om spraak te verstaan. Maar bij lage en heel hoge tonen is de geluidssterkte in dB(A) kleiner dan de geluidssterkte in dB. Bij metingen om geluidshinder vast te stellen, wordt de dB(A)-schaal gebruikt, ook door de arbocontroleurs.

REKENEN MET DECIBELLEN

Als het aantal geluidsbronnen verdubbelt, wordt het geluid niet twee keer zo hard. Dat merk je als je de geluidssterkte in het muzieklokaal meet. Als één leerling zingt, schommelt de geluidssterkte rond 55 dB. Maar als er 32 leerlingen tegelijk zingen, wordt de (gemiddelde) geluidssterkte niet 32 keer zo groot. Je meet 'slechts' een geluidssterkte van gemiddeld 70 dB.

De decibelschaal sluit aan bij de manier waarop mensen geluid waarnemen. Als het aantal geluidsbronnen twee keer zo groot wordt, verdubbelt het vermogen dat de geluidsbronnen afgeven. Maar voor jouw gevoel levert dat maar een bescheiden toename op van de hoeveelheid geluid. Op de decibelschaal gaat het om een stap van maar 3 dB. Hoe groot de geluidssterkte in decibel wordt, kun je als volgt berekenen:

Als het aantal geluidsbronnen 2× zo groot wordt, neemt de geluidssterkte met 3 dB toe.

Je kunt deze regel alleen gebruiken als alle geluidsbronnen (ongeveer) evenveel geluid maken en op (ongeveer) dezelfde afstand staan.

VOORBEELDOPDRACHT 1

In een lab staat een aantal zuurkasten (figuur 7). In een zuurkast zit een afzuiginstallatie waardoor je proeven waarbij dampen vrijkomen op een veilige manier kunt doen. Als een van de zuurkasten aanstaat, wordt er op 2 m afstand een geluidssterkte gemeten van 40 dB.
Hoe groot is daar de geluidssterkte als er vier zuurkasten aanstaan?



figuur 7 Zuurkast in een lab.

Het aantal decibellen is bij:
- één zuurkast: 40 dB;
- twee zuurkasten: 40 + 3 = 43 dB (van 1 naar 2: eerste verdubbeling)
- vier zuurkasten: 43 + 3 = 46 dB (van 2 naar 4: tweede verdubbeling)

GELUIDSSTERKTE EN AFSTAND

Deskundigen maken onderscheid tussen ‘puntvormige’ en ‘lineaire’ geluidsbronnen. Als het geluid van één plek komt – bijvoorbeeld van een auto op een rustig landweggetje – heb je met een puntvormige geluidsbron te maken. De geluidssterkte hangt af van de afstand tot de geluidsbron.

Uit proeven en berekeningen blijkt:

> Als de afstand tussen jezelf en een puntvormige geluidsbron verdubbelt, neemt de geluidssterkte (die jij waarneemt) met 6 dB af.

Een drukke verkeersweg vormt een ‘lint van lawaai’ (figuur 8). Zo’n weg is een lineaire (lijnvormige) geluidsbron. Met ‘de afstand tussen jou en de weg’ wordt de kortste afstand bedoeld, loodrecht op de weg gemeten. Voor het geluid van zo’n lineaire geluidsbron geldt:

> Als de afstand tussen jezelf en een lineaire geluidsbron verdubbelt, neemt de geluidssterkte (die jij waarneemt) met 3 dB af.



figuur 8 Een lineaire geluidsbron.

 **Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.**

EXTRA HET AUDIOGRAM

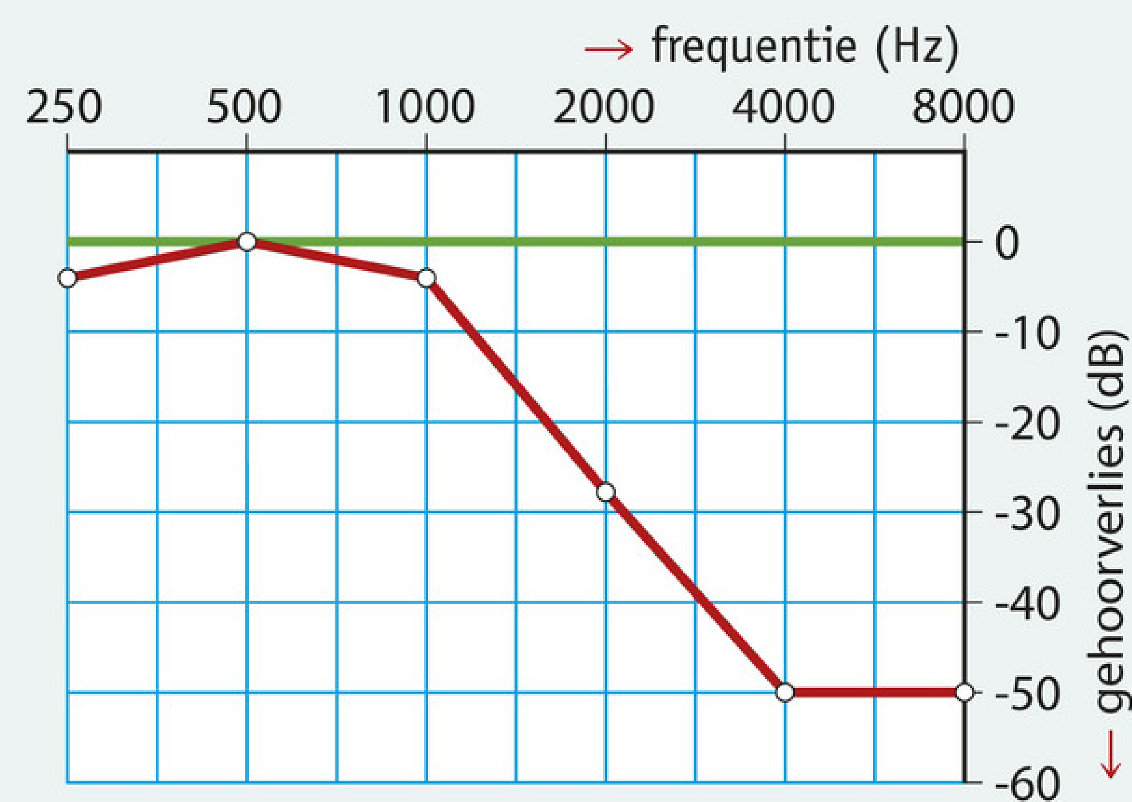
Als een arts vermoedt dat je gehoor beschadigd is, kan deze van beide oren een audiogram laten maken door een audioloog (van het Latijnse *audire* = *horen*). Op een audiogram kun je zien hoeveel jouw gehoordrempel afwijkt van de normale waarde.

Het audiogram wordt als volgt gemaakt. Via een koptelefoon krijg je een aantal tonen te horen waarvan de toonhoogte en intensiteit verschilt. Als je een toon hoort, moet je je hand opsteken of op een knopje drukken (figuur 9). Uit die meetgegevens berekent het apparaat de gehoordrempels voor een aantal frequenties tussen 250 Hz en 8000 Hz.

In figuur 10 zie je het resultaat in een audiogram weergegeven. In zo'n diagram zie je je gehoorverlies bij verschillende frequenties. In dit audiogram kun je zien dat er een flink gehoorverlies is voor hoge tonen. Om het diagram niet te groot te maken, zijn de frequenties op een speciale schaal langs de *x*-as uitgezet. Bij elk hokje wordt de frequentie twee keer zo groot. Zo'n schaalverdeling noem je logaritmisch.



figuur 9 Zo wordt een audiogram gemaakt.



figuur 10 De rode lijn in dit audiogram toont een gehoorverlies voor hoge tonen.

1 Beantwoord de volgende vragen.

a Welke twee eenheden worden gebruikt voor de geluidssterkte?
b Leg uit wat het verschil is tussen deze twee eenheden.
c Geef een definitie van de gehoordrempel.
d Voor welke frequenties ligt je gehoordrempel hoger dan 0 dB?

2 Waldemar speelt een noot op de piano. Hij hoort een toon die langzamerhand steeds zachter wordt.

a Verandert de frequentie van de geluidstrilling als de toon zachter wordt? Zo ja, hoe?
b Verandert de amplitude van de geluidstrilling als de toon zachter wordt? Zo ja, hoe?

3 Niet alle tonen zijn hoorbaar (figuur 6).

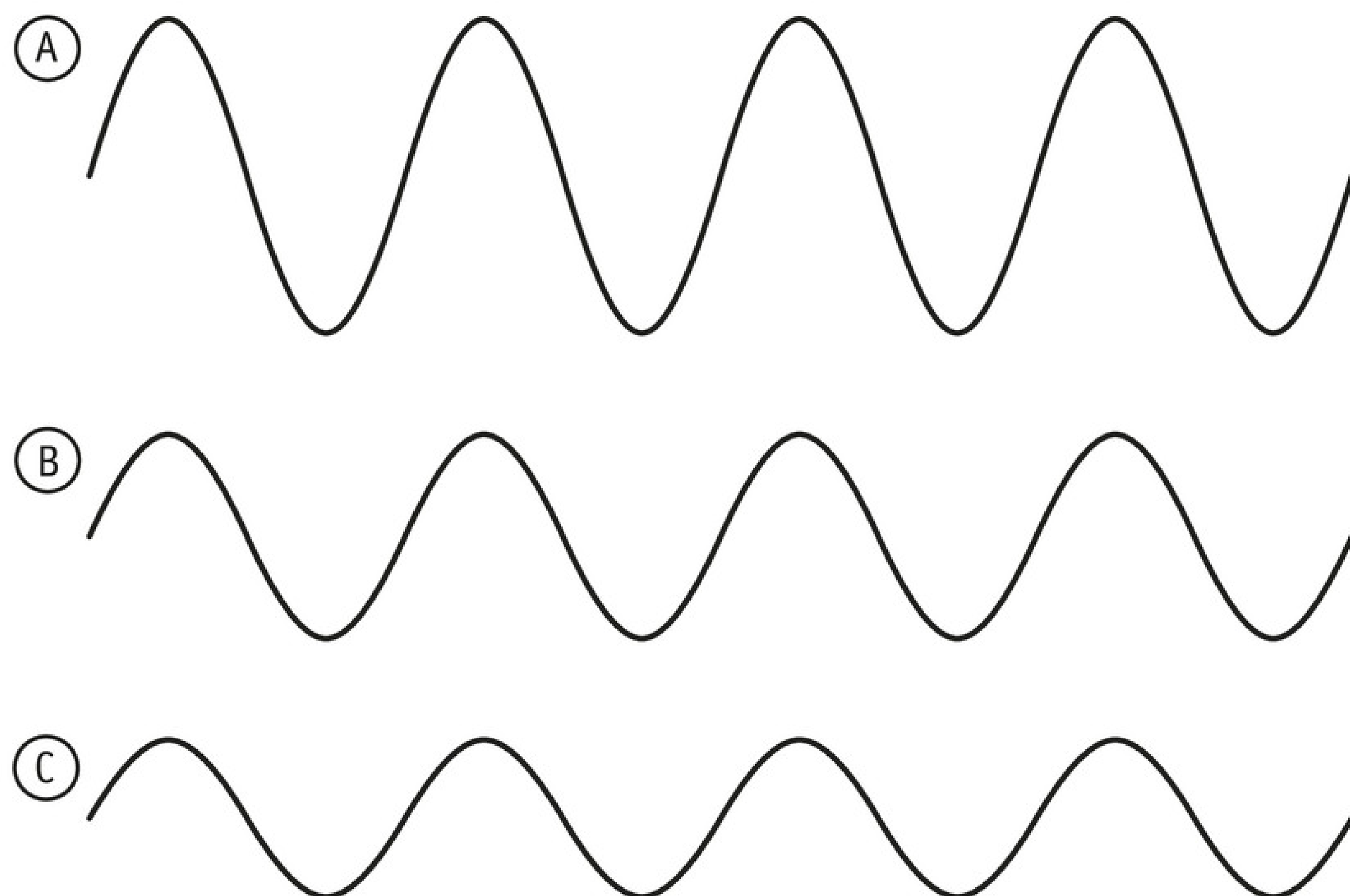
a Een toon heeft een sterkte van 20 dB en een frequentie van 50 Hz.
Kun je die toon horen?
b Een toon heeft een sterkte van 20 dB en een frequentie van 5000 Hz.
Kun je die toon horen?
c Hoe sterk moet een toon van 100 Hz minstens zijn om gehoord te kunnen worden?
d Hoe sterk moet een toon van 10 000 Hz minstens zijn om gehoord te kunnen worden?

4 Rumouz slaat een stemvork aan. Daarna trekt ze de schrijfstift, die aan de stemvork bevestigd is, over een plaat. In figuur 11 zie je drie stukjes van het geluidsspoor dat dan ontstaat, 10× vergroot.

a Hoe groot is de amplitude bij A? Bij B? Bij C?

b Het stukje golfspoor bij A is eerder ontstaan dan het stukje golfspoor bij B. Waaraan kun je dat zien?

figuur 11 Drie gedeelten van het golfspoor van Rumouz.



5 In een voetbalstadion wordt op de middenstip de geluidssterkte gemeten. Als er duizend mensen aan het juichen zijn, geeft de decibelmeter 80 dB aan.
Schat hoe groot de geluidssterkte ongeveer zal zijn als er honderdduizend mensen aan het juichen zijn. Geef aan hoe je aan je antwoord bent gekomen.

★ 6 Een apparaat geeft een zacht zoemgeluid met een frequentie van 100 Hz. Op 10 m afstand heeft het gezoem een geluidssterkte van 0 dB.

a Wat kun je met behulp van figuur 6 zeggen over het aantal apparaten dat aan moet staan, wil je het gezoem horen op 10 m afstand?

b Als de frequentie van het geluid hoger wordt, kun je het wel horen. Welke frequenties kun je net horen als de geluidssterkte 0 dB is?

c Op 40 m afstand geven zestien van deze apparaten samen een geluidssterkte van 0 dB. Hoe groot is de geluidssterkte van één apparaat op 40 m afstand?

7 Een scooter passeert je op een afstand van 15 m. Op de plaats waar jij staat, is de geluidssterkte dan 78 dB. Na ongeveer 30 s is de scooter 480 m van je verwijderd.

a Is een scooter een puntbron of een lineaire bron? Licht je antwoord toe.

b Hoe groot is de geluidssterkte die je na 30 s waarneemt?

8 Als je minder last wilt hebben van een geluidsbron, moet je er verder vanaf gaan staan.

a Bij welk type bron is dit effectiever: bij een puntvormige geluidsbron of bij een lineaire geluidsbron?

b Hoe kun je dit verschil verklaren?

★ 9 Vergelijk de volgende twee situaties:

Situatie 1
Een wegwerker is met een drilboor aan het werk op een snelweg die is afgesloten voor verkeer. Uit metingen op 25 m afstand van de wegwerker blijkt dat de drilboor gemiddeld 75 dB produceert.

Situatie 2, drie maanden later
Tijdens de ochtendspits rijdt er druk verkeer over de inmiddels weer opengestelde snelweg. Uit metingen op 25 m afstand van de weg blijkt dat het verkeer gemiddeld 60 dB produceert.
Een woonhuis staat op 200 m afstand van de weg, ter hoogte van de wegwerker en zijn drilboor.

a Bereken hoe groot de geluidssterkte bij het huis was toen de wegwerker nog bezig was (situatie 1).
b Bereken ook de geluidssterkte bij het huis nadat de weg weer open was (situatie 2).
c Op 1200 m afstand van de weg begint een woonwijk.
Wat kunnen de mensen daar beter horen: de drilboor of het verkeer? Licht je antwoord toe.
d Hoe ziet het gebied van situatie 1 eruit, waar de geluidssterkte groter is dan 55 dB? Beschrijf de vorm van het gebied en de grootte ervan.
e Beantwoord dezelfde vraag voor situatie 2.


Test je kennis met de *Test jezelf*.

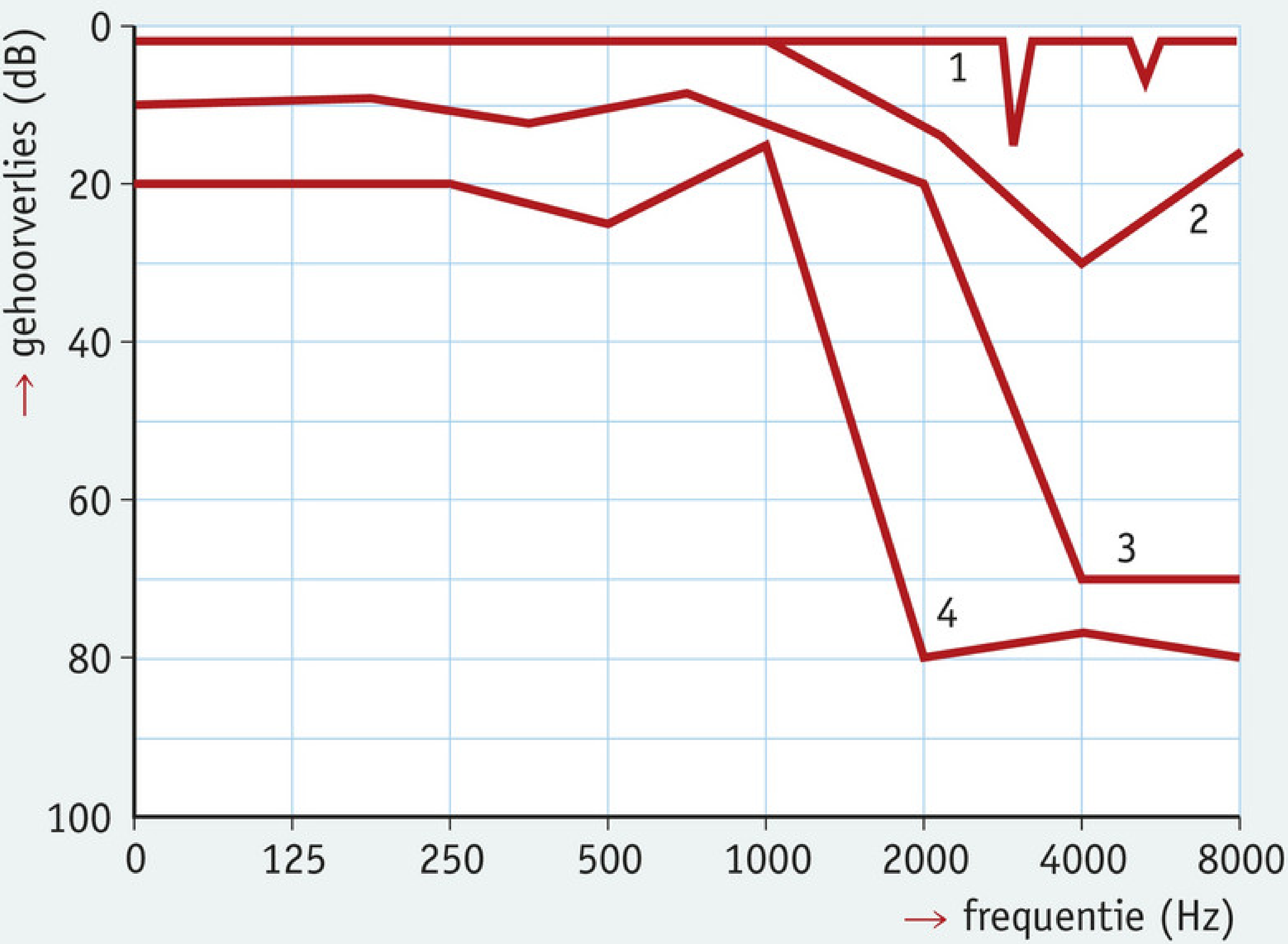
EXTRA HET AUDIOGRAM

10 In figuur 12 zie je audiogrammen van mensen in verschillende stadia van lawaaidoofheid (van 1 tot en met 4). Lawaaidoofheid ontstaat doordat je oren te lang aan lawaai hebben blootgestaan.

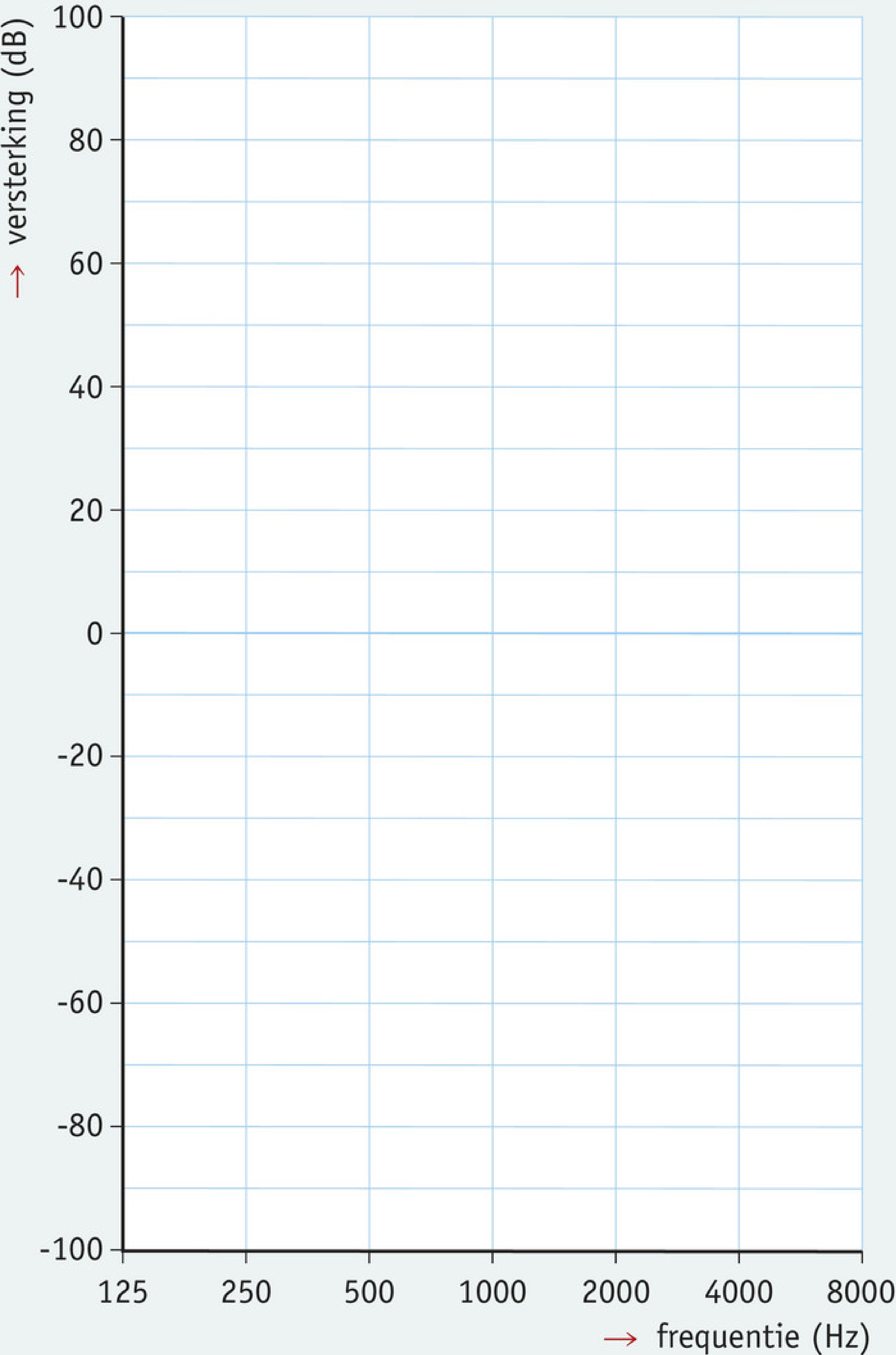
a Welke frequenties worden het eerst beïnvloed bij gehoorschade?

b Hoe zal muziek voor iemand met gehoorschade in stadium 4 klinken?

c Iemand heeft gehoorschade in stadium 3. Schets in figuur 13 hoe een gehoorapparaat in dat geval geluid zal moeten versterken.



figuur 12 Audiogrammen van mensen in verschillende stadia van lawaaidoofheid.



figuur 13 Geluid versterken.

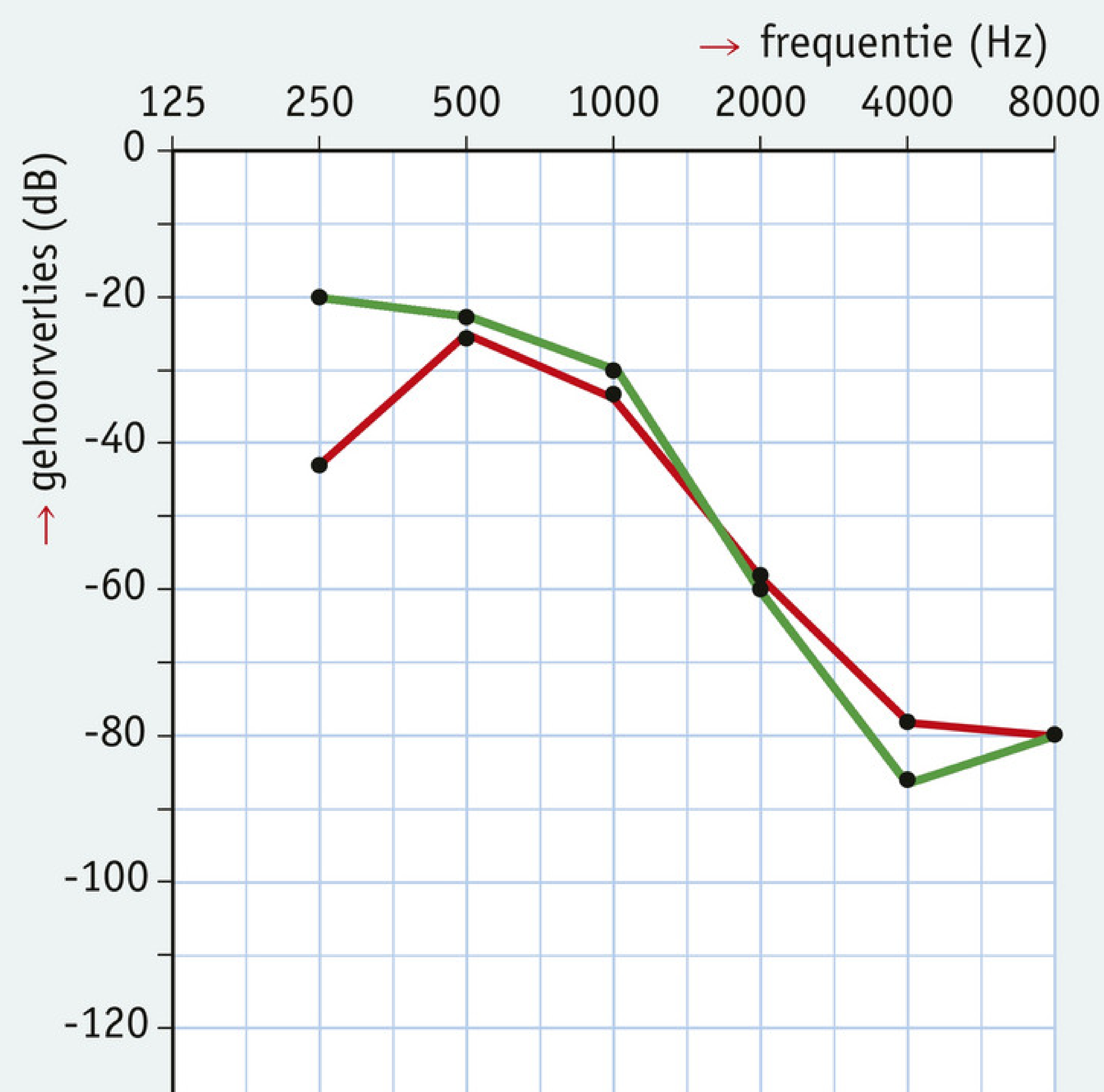
11 In figuur 14 zie je het audiogram van het gehoor van Anna.

a Hoort Anna de lage tonen beter met haar linkeroor (groen) of met haar rechteroor (rood)?

b Hoe groot is het gehoorverlies bij het linkeroor van Anna als ze naar een toon van 250 Hz luistert?

c Welke frequentie hoort Anna het best met haar rechteroor?

d Het trommelvlies wordt wat minder soepel als je ouder wordt. Leg uit waarom je dan hogere tonen minder goed hoort.



figuur 14 Het audiogram van Anna.

12 Als er een audiogram van je gehoor wordt gemaakt, krijg je soms niet alleen een koptelefoon op, maar wordt er ook een blokje tegen je hoofd geplaatst. Dat blokje kan trillen, net als de conussen van de koptelefoon. De trillingen van het blokje gaan niet via de lucht, maar langs een andere weg direct naar het slakkenhuis van je oren.

a Hoe komen de trillingen van het blokje bij de slakkenhuizen van je oren?

b Wat zal er aan de hand zijn als je beter via het blokje 'hoort' dan via de koptelefoon?

4 Geluidsoverlast bestrijden

LEERDOELEN

8.4.1 Je kunt beschrijven van welke factoren het afhangt of geluid schadelijk is voor je gehoor.
8.4.2 Je kunt uitleggen waarom het belangrijk is om je oren niet te veel bloot te stellen aan hard geluid.
8.4.3 Je kunt het verschil uitleggen tussen schadelijk en hinderlijk geluid.
8.4.4 Je kunt uitleggen op welke drie manieren geluidsoverlast bestreden kan worden.
EXTRA 8.4.5 Je kunt uitleggen wat een otoplastiek is en wie deze gebruikt.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN LEERDOELEN					
	8.4.1	8.4.2	8.4.3	8.4.4	8.4.5	8.1.3*
Onthouden			1ac	2abc		
Begrijpen	4ade	4bc	1bd	3b, 5	9a, 10abc	3ac, 6
Toepassen				8ab	9bc	
Analyseren		7				3d

* Dit leerdoel vind je in een eerdere paragraaf.

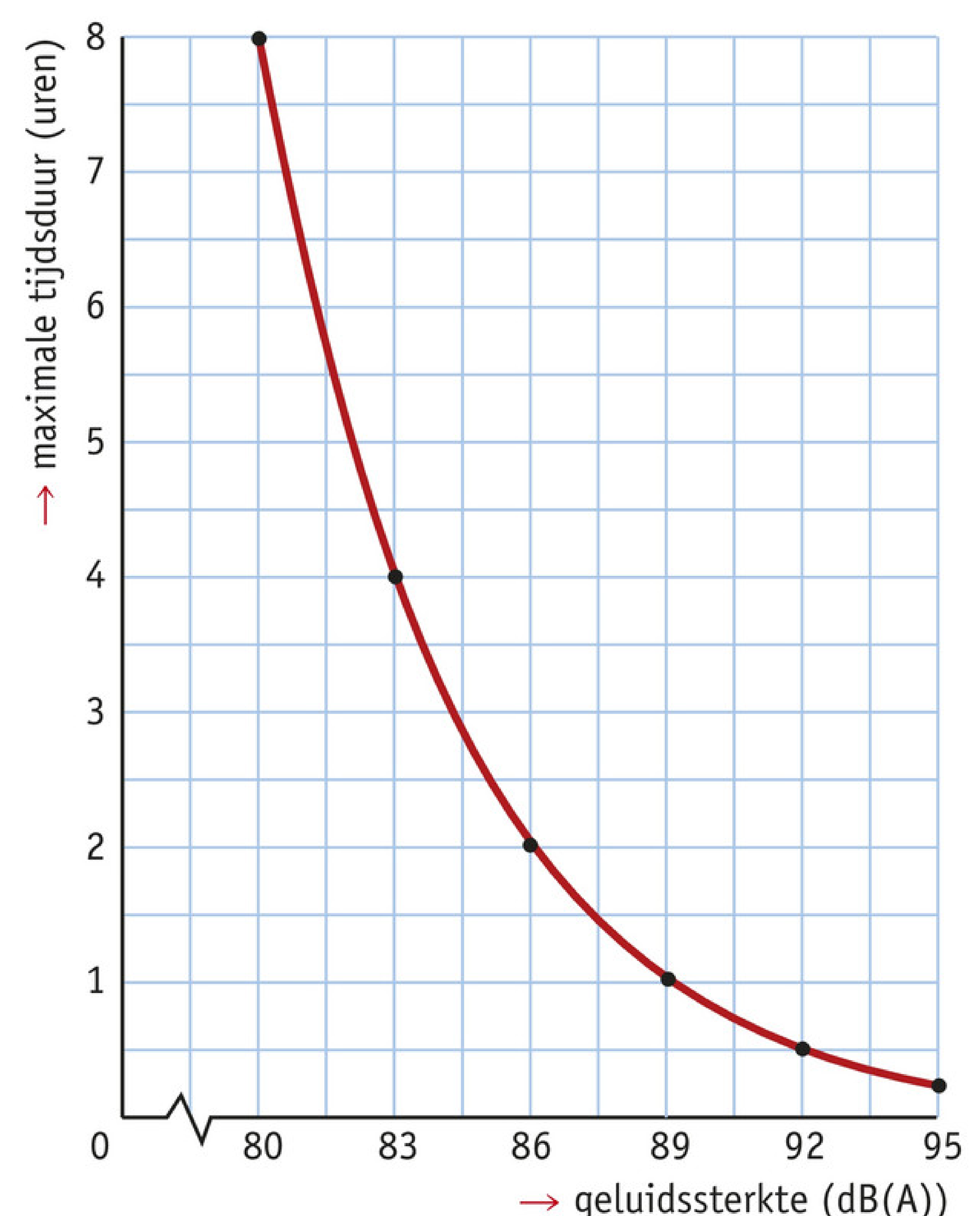
Geluid kan heel irritant zijn. Denk aan het geluid van een vork die over een bord krast. Harde geluiden kunnen je gehoor bovendien blijvend beschadigen. Alle reden dus om ongewenst geluid te bestrijden.

SCHADELIJKE GELUIDSSTERKTE

Harde geluiden zijn slecht voor je gehoor. Als de geluidssterkte op de pijngrens zit, loopt je gehoor vrijwel meteen schade op. Maar ook als je langdurig wordt blootgesteld aan geluid van 80 tot 90 dB, kun je al gehoorschade oplopen. Bij een disco of een popconcert weet je vaak wel of het geluid te hard is of niet. Maar bij muziek uit een koptelefoon of oortje is dat lastiger. Vaak is dat geluid harder dan je denkt.

Of geluid schadelijk is voor je gehoor hangt af van de geluidssterkte én van de tijdsduur die je aan het geluid blootstaat. In figuur 1 zie je hoelang een werknemer volgens de Arbowet maximaal aan lawaai mag blootstaan. Bij geluid van 80 dB(A) is dat acht uur, bij geluid van 83 dB(A) vier uur, bij geluid van 86 dB(A) twee uur enzovoort. Als de maximale tijd voorbij is, moet je je gehoor de tijd geven zich weer te herstellen. Anders loop je kans op blijvend gehoorletsel.

Als je een piep in je oor hoort, bijvoorbeeld na een concert waar je dicht bij de boxen stond, is dat een teken dat je oren beschadigd zijn en moeten herstellen. Anders loop je kans op blijvend gehoorletsel. Het kan jaren duren voordat blijvende schade merkbaar wordt. Op het moment dat je last krijgt van slechthorendheid, ben je al te laat; dan kan de schade nooit meer teruggedraaid worden. Inmiddels heeft in Nederland ruim een half miljoen jongeren tussen de 16 en 30 jaar blijvende gehoorschade.



figuur 1 Hoe harder het geluid, des te korter mag je eraan blootstaan.

Gehoorschade uit zich niet alleen in slechthorendheid. Sommige mensen horen continu een geluid dat er niet is, bijvoorbeeld een hoge piep, rinkelend geluid of een bromtoon. Ze moeten dat geluid leren negeren of dragen een ruisgenerator om het hinderlijke geluid te overstemmen.

HINDERLIJK GELUID

Geluid dat niet schadelijk is, kan nog wel hinderlijk zijn. De ene persoon wordt eerder door bepaalde geluiden gehinderd dan de andere. Verkeerslawaai en geluidsoverlast van buren worden door veel mensen als hinderlijk ervaren.

Of je een geluid hinderlijk vindt, hangt vaak van de situatie af. Een feest bij de buren hoeft helemaal niet erg te zijn, totdat je gaat slapen en merkt dat de muziek toch best wel hard staat. Veel mensen vinden het niet erg dat er in een treincoupé gepraat wordt, maar als je de stof voor een proefwerk nog even door wilt nemen, zet je misschien liever een koptelefoon op die het omgevingsgeluid onderdrukt (figuur 2).



figuur 2 Je afsluiten van omgevingsgeluid.

Dat mensen slecht slapen door geluidsoverlast, is niet alleen maar lastig. Slaapgebrek leidt tot prikkelbaar gedrag, concentratieverlies en oververmoeidheid. Op den duur kan je gezondheid door het gebrek aan slaap achteruitgaan.

MAATREGELEN TEGEN GELUIDSOVERLAST

Een auto die over een weg rijdt, produceert flink wat geluid. Dat geluid komt van de motor die de auto voortstuwt, de wielen die over het wegdek bewegen en de lucht die langs de auto stroomt.
Er zijn verschillende manieren bedacht om de geluidshinder van het verkeer te verminderen. Deskundigen maken daarbij verschil tussen drie soorten maatregelen: bij de bron, tussen de bron en de ontvanger en bij de ontvanger.

Bij de bron

Dit zijn maatregelen waardoor de bron – het verkeer – minder geluid gaat produceren. Dat kan bijvoorbeeld door snelwegen te asfalteren met geluidsarm asfalt. Of door autobanden die minder lawaai maken. Hier zijn al regels voor.

Tussen de bron en de ontvanger

Dit zijn maatregelen in het gebied tussen een weg en een woongebied, zoals **geluidswallen** en **geluidsschermen**. Ook worden langs snelwegen vaak bedrijfsgebouwen gebouwd om de woonwijk daarachter af te schermen.

Bij de ontvanger
Dit zijn de maatregelen die in het woongebied genomen worden. Huizen die dicht bij een snelweg staan, worden bijvoorbeeld extra goed geïsoleerd tegen geluidshinder. Er kan dan veel minder geluid de huizen binnenkomen.

GELUID ABSORBEREN OF TERUGKAATSEN

Een dikke aarden wal langs een snelweg kan het verkeerslawaai behoorlijk dempen. Het geluid wordt door zo'n wal geabsorbeerd: de geluidsgolven dringen een eindje in de wal door, maar doven uit voordat ze de andere kant bereiken. Materiaal dat geluid moet absorberen, is zacht en heeft een onregelmatig oppervlak.

Als er niet voldoende ruimte is voor een geluidswal, wordt er vaak een geluidsscherm langs de snelweg geplaatst. Het geluid wordt door zo'n scherm teruggekaatst, zodat het de woningen langs de snelweg niet bereikt (figuur 3). Materiaal dat geluid moet terugkaatsen, is hard en heeft een glad oppervlak.



figuur 3 Een geluidsscherm.

GELUIDSISOLATIE

Geluidshinder kun je bestrijden met **geluidsisolatie**. Daarvoor wordt een isolatiemateriaal gebruikt dat het geluid sterk absorbeert, bijvoorbeeld glaswol (figuur 4). De isolatie kan worden aangebracht bij de bron van het geluid of bij de ontvanger. Beide manieren worden in de praktijk toegepast.



figuur 4 Glaswol.

Je kunt een lawaaierige machine isoleren door er een goed afgesloten behuizing omheen te bouwen, met een flinke laag isolatiemateriaal. De geluidstrillingen worden door zo'n isolatielaag flink afgezwakt. Vaak wordt zo'n machine gemonteerd op rubberen noppen. Het rubber dempt de trillingen, zodat die niet aan de vloer worden doorgegeven.

Geluidsisolatie kan ook worden aangebracht bij de ontvanger. Werknemers moeten bijvoorbeeld oorkappen of oordopjes dragen (figuur 5) als het geluid op hun werkplek harder is dan 85 dB(A). Hierdoor wordt het geluid dat hun oren bereikt een stuk zwakker.

figuur 5 Oorkappen en oordopjes.



ⓐ ⓑ

Oefen de begrippen met de *Flitskaarten*.

EXTRA GEHOORBESCHERMING

Musici die in een orkest spelen, moeten zuinig zijn op hun gehoor. In de praktijk valt dat niet mee. De instrumenten om hen heen maken zoveel lawaai dat ze risico lopen op een gehoorbeschadiging (tabel 1). Gewone oordopjes vormen geen goede oplossing: die dempen de ene frequentie meer dan de andere, waardoor de muziek vervormt.

tabel 1 Gemiddelde geluidssterkte voor musici in een orkest.

musicus	geluidssterkte (dB)
trompet, trombone en hoorn	88
slagwerk	85
fluit en klarinet	84
hobo en fagot	83
harp	82
cello en viool	80

Er zijn oordopjes die alle frequenties wel even sterk dempen, maar die zijn veel duurder dan de gewone. Het duurst zijn de otoplastieken (*oto* komt van het Griekse woord *ous* = *oor*) die door professionele musici gebruikt worden (figuur 6). Als je een otoplastiek nodig hebt, wordt er eerst een afdruk van je gehoorgang gemaakt. De otoplastiek wordt daarna op maat gemaakt, zodat hij precies in je gehoorgang past.



figuur 6 Otoplastieken.

1 Geluid kan zowel hinderlijk als schadelijk zijn.

a Wanneer is geluid schadelijk?
b Geef een voorbeeld van schadelijk geluid.
c Wanneer is geluid hinderlijk?
d Geef een voorbeeld van hinderlijk geluid.

2 Het verkeer op een drukke weg kan veel lawaai maken.
Noteer een manier om de geluidsoverlast te bestrijden:

a bij de bron.
b tussen de bron en de ontvanger.
c bij de ontvanger.

3 Han woont op de vijfde verdieping van een flatgebouw. Als hij piano speelt, zet hij altijd het raam open. Op de vierde verdieping van het flatgebouw kun je hem dan duidelijk horen spelen.

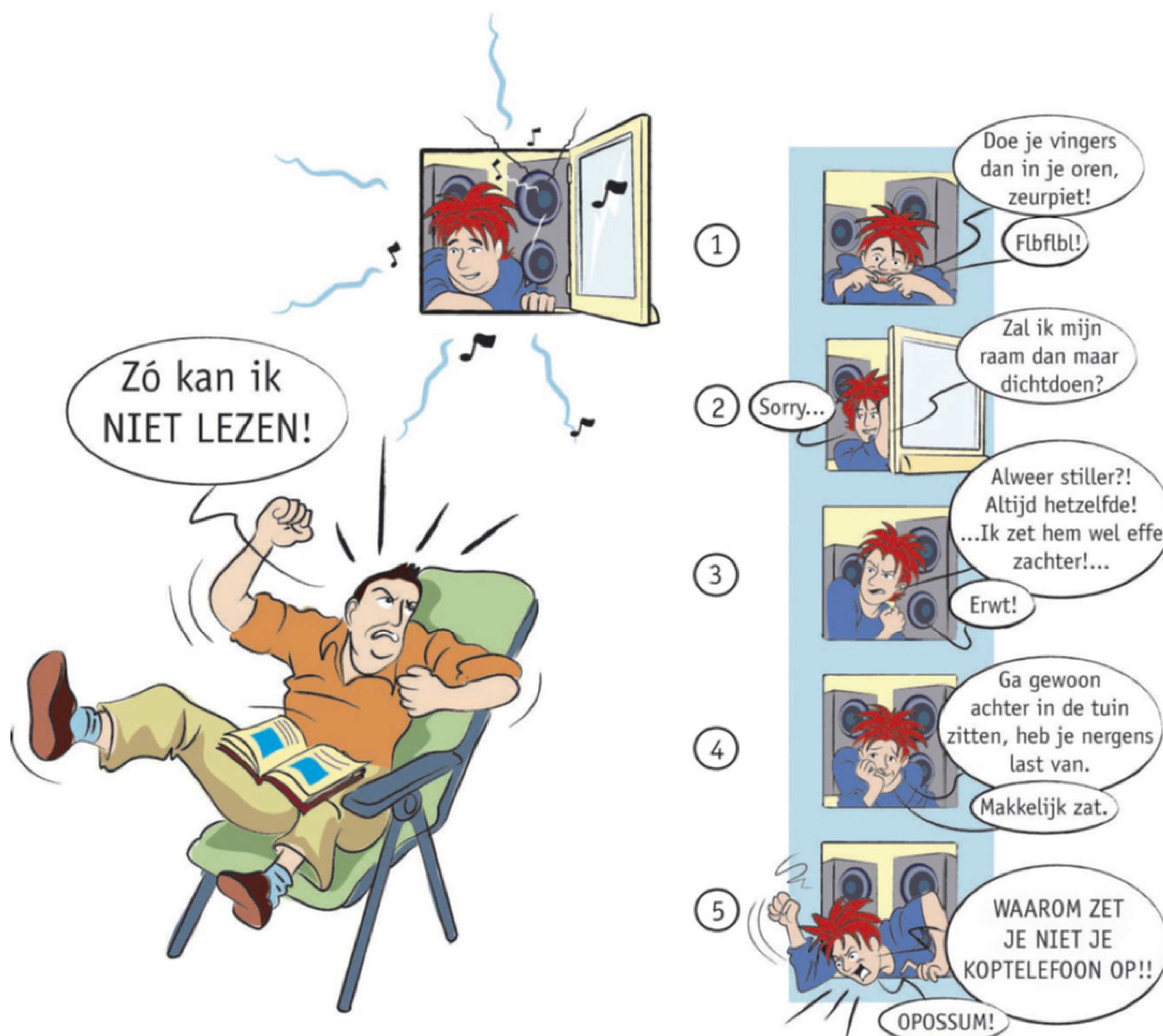
a Via welke twee media komt het geluid van Franks piano op de vierde verdieping terecht?
b Op verzoek van zijn onderburen doet Frank voortaan het raam dicht en zet hij de poten van zijn piano op dikke stukken rubber. Noteer twee redenen waardoor de onderburen nu veel minder last hebben van Franks pianospel.
c Frank isoleert ook nog de kamer waar zijn piano staat met glaswol.
Waarom is het beter als deze isolatie los van de muur staat?
d Glaswol heeft een zeer open structuur: het bestaat uit draden (vezels) waartussen veel kleine holtes met lucht zitten. Leg uit waarom dit voor een goede geluidsisolatie zorgt.

4 Beantwoord de volgende vragen met behulp van figuur 1.

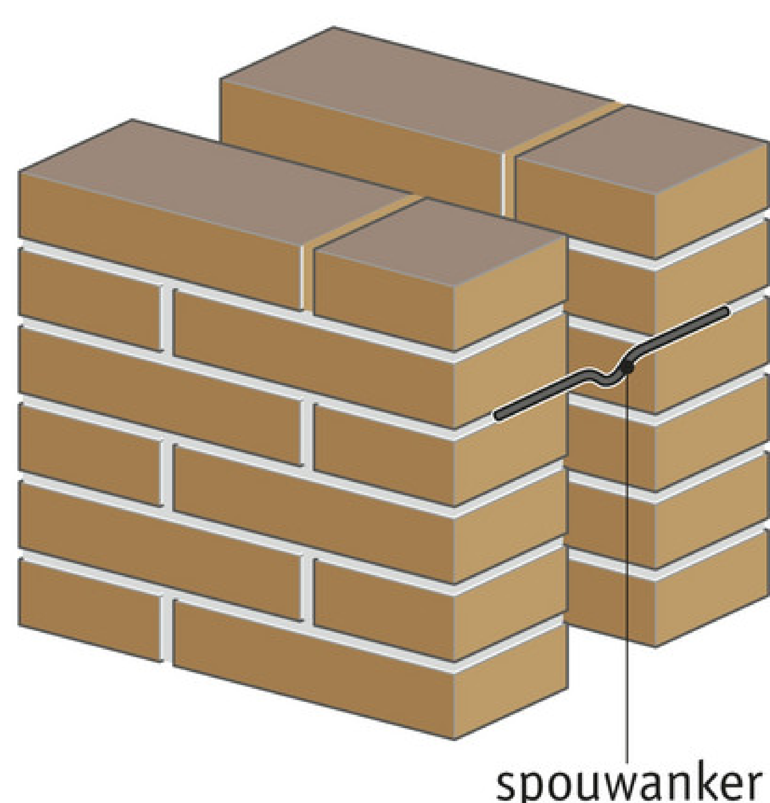
a Als je muziek luistert via oortjes en je zet het volume op maximaal, dan kan de geluidssterkte in je oren gemakkelijk oplopen tot 95 dB(A).
Is een geluidssterkte van 95 dB(A) slecht voor je oren? Licht je antwoord toe.
b Afzal hoort een piep in zijn oor na het luisteren naar muziek van 95 dB(A).
Hoelang denk je dat hij minstens geluisterd heeft?
c Wat raad je Afzal aan om te doen?
d Jessie zegt dat ze de oortjes van haar telefoon ongeveer acht uur per dag in heeft.
Wat is een veilige geluidssterkte voor iemand die zoveel naar muziek luistert?
e Jeremy werkt in een fabriek waar het geluidsniveau 85 dB is.
Is het verstandig voor Jeremy om dan gehoorbeschermers te dragen?

5 Kees moppert op het lawaai van Brit. Brit kan daar op verschillende manieren op reageren (figuur 7).
Noteer van elke reactie of het gaat om een maatregel ‘bij de bron’, ‘tussen bron en ontvanger’ of ‘bij de ontvanger’.

figuur 7 Mag het wat zachter?



6 Een spouwmuur bestaat uit een binnen- en een buitenmuur. Deze twee muren worden vaak verbonden met stalen staafjes die ankers genoemd worden (figuur 8). Een spouwmuur isoleert beter tegen geluid als er geen ankers worden aangebracht.
Leg uit hoe dat komt.



figuur 8 Spouwmuur met spouwanker.

7 Verkeersdeskundigen zeggen dat je in het verkeer beter niet naar muziek kunt luisteren.
Welke reden zullen ze daarvoor hebben?

8 Bij het ontwerpen of verbouwen van een fabriek wordt rekening gehouden met de geluidsoverlast voor de medewerkers. Machines maken soms veel geluid. Een van de manieren om overlast tegen te gaan, is het bouwen van een isolerende behuizing om de machine.

a Bedenk twee nadelen van het op deze manier beperken van de geluidsoverlast.

b De geluidsoverlast kun je ook bij de ontvanger aanpakken. De medewerkers moeten dan oorkappen of oordopjes dragen.
Noteer een nadeel van het beperken van de geluidsoverlast bij de ontvangers.


Test je kennis met de *Test jezelf*.

EXTRA GEHOORBESCHERMING

9 De duurste oordoppen worden op maat gemaakt. Er wordt dan eerst een afdruk gemaakt van je gehoorgang.

a Waarom moet er eerst een afdruk van je gehoorgang worden gemaakt?

b Wat zal een gebruiker merken als zijn otoplastiek niet goed past?

c Heeft het zin om een otoplastiek van iemand anders te lenen?

10 Lees figuur 9.

a Van welke factoren hangt het af of geluid schade toebrengt aan het gehoor?

b In het artikel staat een aantal maatregelen om gehoorbeschadiging te voorkomen.
Noteer deze maatregelen.

c Waarom hebben musici niets aan goedkope oordoppen om het genoemde probleem op te lossen?

figuur 9

Oordopjes voor muzikant

Minder luidruchtige muziekstukken op het repertoire, een grotere afstand of plexiglazen schermen tussen blazers en strijkers en misschien zelfs oordopjes voor musici. Dat zijn mogelijke gevolgen van nieuwe regels voor geluidsbelasting op het werk. De huidige toelaatbare geluidsnorm van 90 dB gaat naar 87 dB. TNO gaat onderzoeken hoe de geluidsbelasting verlaagd kan worden. Een mogelijkheid is bijvoorbeeld de blazers hoger op het podium te plaatsen, zodat ze niet meer al te direct in de oren van andere musici blazen.

Bron: NRC Handelsblad

Practica

PROEF 1 DE STEMVORK

15 minuten

Inleiding
Geluid ontstaat als voorwerpen trillen, zoals een stemvork of een luidspreker. Door de beweging van zo'n geluidsbron wordt de omringende lucht ook in trilling gebracht. Zo kan het geluid je oren bereiken.

Doel
Bij deze proef onderzoek je het trillen van een stemvork.

Nodig
- ☐ stemvork 440 Hz
- ☐ bekerglas

Uitvoeren en uitwerken
- Sla de stemvork aan. Luister naar de toon die je hoort.
- Sla de stemvork opnieuw aan. Zet hem vervolgens met zijn onderkant op de tafel.
- Luister weer naar de toon.

1 Welk verschil hoor je met de eerste keer?

....

....

- Sla de stemvork aan. Voel met je nagel aan een been van de stemvork.

2 Wat voel je?

....

....

- Vul het bekerglas voor driekwart met water. Sla de stemvork aan. Raak met één been van de stemvork het wateroppervlak aan. Pas op dat je de rand van het glas niet raakt!

3 Wat zie je?

....

....

- Sla de stemvork aan en houd hem met zijn onderkant op verschillende plaatsen tegen je hoofd.

4 Wanneer klinkt de stemvork het hardst?

....

....

PROEF 2 DE LUIDSPREKER

15 minuten

Inleiding

In luidsprekers zit een kegelvormig onderdeel dat de conus wordt genoemd. Deze conus kan heen en weer bewegen en zo de omringende lucht in trilling brengen.

Doel

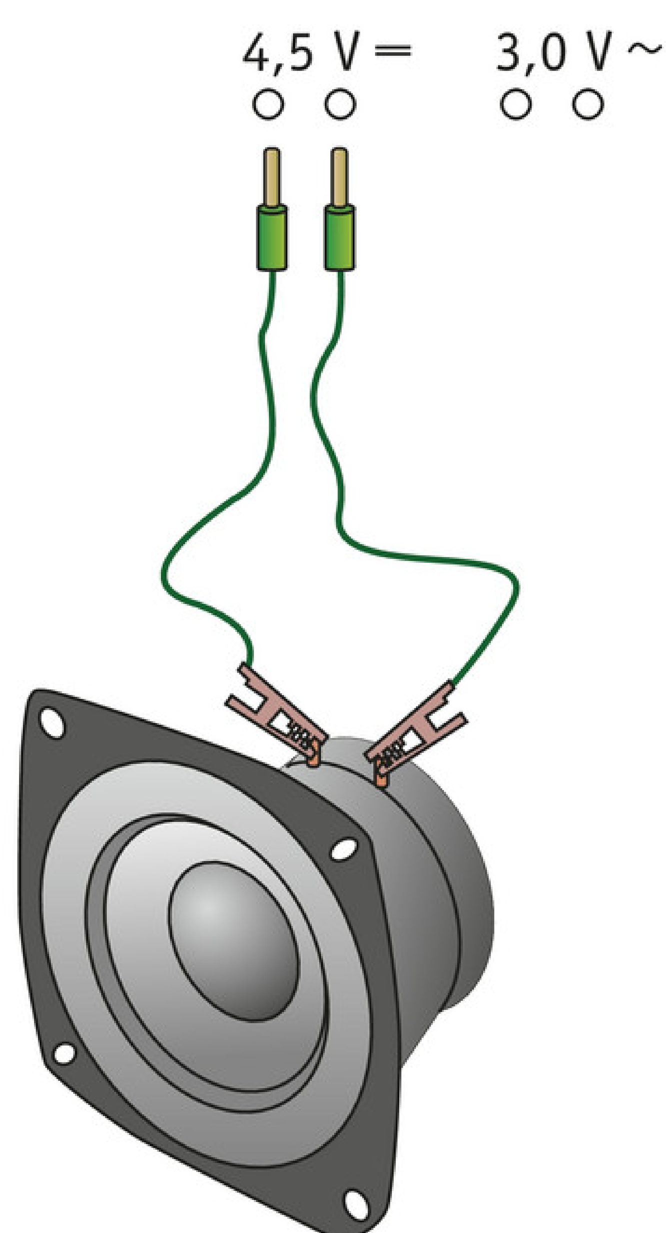
Bij deze proef kom je erachter hoe een luidspreker de lucht in trilling brengt.

Nodig

- ☐ luidspreker
- ☐ 2 snoeren
- ☐ voedingskastje

Uitvoeren en uitwerken

- Sluit de luidspreker aan op een gelijkspanning van 4,5 V (figuur 1). Kijk tijdens het aansluiten naar de conus.



figuur 1 De opstelling van proef 2.

1 Beweegt de conus nu naar binnen of naar buiten?

....

....

- Wissel de twee aansluitingen op het voedingskastje om.

2 Beweegt de conus nu naar binnen of naar buiten?

....

....

- Sluit nu de luidspreker aan op een wisselspanning van 3 V.
- Let op: maak de spanning niet groter dan 3,0 V!

3 Wat hoor je?

....

....

- Voel voorzichtig aan de conus.

4 Wat voel je?

....

....

PROEF 3 TONEN VAN SNAREN

30 minuten

Let op! Als je een snaar te strak aanspant, kan hij breken. Dat is gevaarlijk, want een snaar kan je met een flinke kracht raken. Daarom is het verplicht om bij deze proef een veiligheidsbril te dragen.

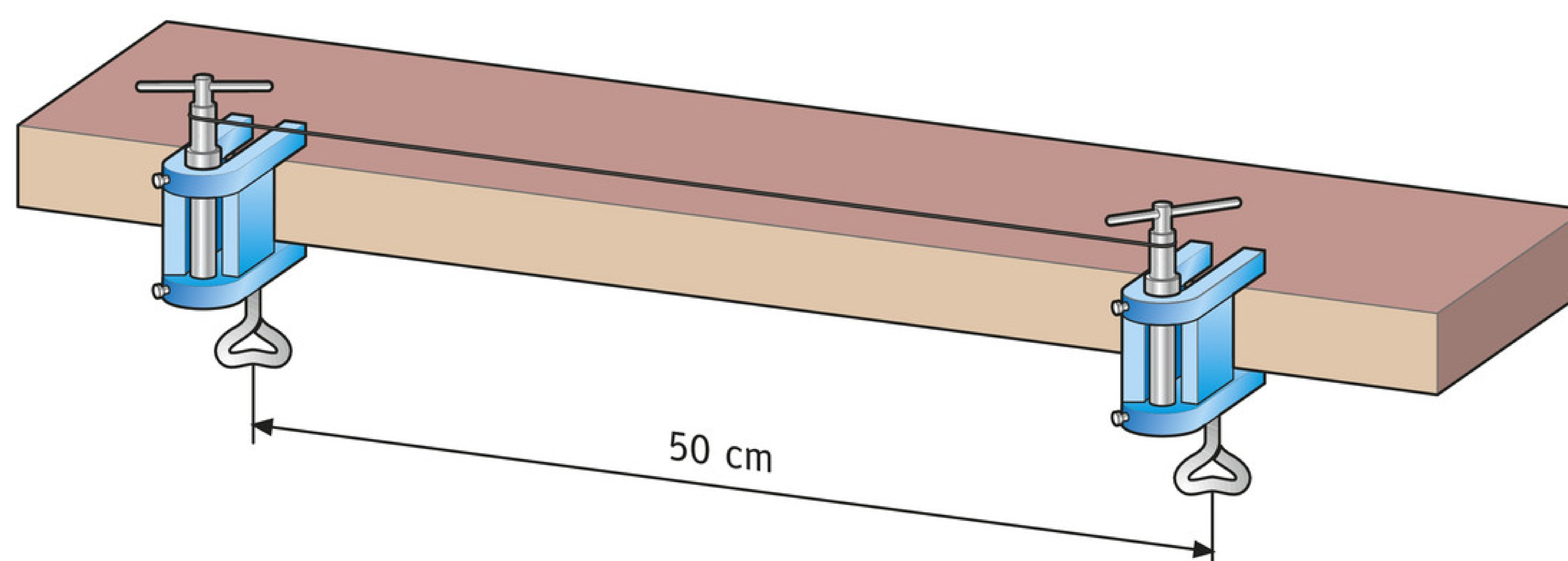
Inleiding
Er zijn allerlei muziekinstrumenten die geluid produceren met trillende snaren. Denk aan een gitaar, een viool en een piano.

Doel
Bij deze proef onderzoek je van welke factoren de toon van een snaar afhangt.

Nodig
- ☐ veiligheidsbril
- ☐ 2 tafelklemmen
- ☐ 2 draadspanners
- ☐ dunne metalen snaar
- ☐ dikke metalen snaar
- ☐ rolmeter

Uitvoeren en uitwerken

- Zet je veiligheidsbril op!
- Zet de tafelklemmen 50 cm uit elkaar en klem ze op de tafel vast.
- Maak de dunne snaar tussen de klemmen vast (figuur 2).
- Span de dunne snaar een eindje door aan een van de spanbouten te draaien.
- Trek voorzichtig met een wijsvinger aan het midden van de snaar en laat hem los.



figuur 2 De opstelling van proef 3.

1 Wat voor beweging maakt de snaar?

....

- Trek nog een keer aan de snaar.
- Luister vlak bij de snaar.

2 Hoor je geluid? Zo ja, wat valt je op aan het geluid?

....

....

- Breng de snaar opnieuw in trilling en pak hem voorzichtig vast.

3 Wat voel je?

....

4 Hoor je nog geluid als je de snaar vastpakt?

....

- Maak de dunne snaar aan één klem los.
- Maak ook één tafelklem los.
- Zet nu de klemmen dichter bij elkaar, zodat de afstand 25 cm is.
- Span de snaar weer tussen de klemmen. Probeer, op je gevoel, de spanning in de snaar net zo groot te maken als eerst.
- Breng de snaar weer aan het trillen en luister goed.

5 Is de toon hetzelfde als de eerste keer? Zo nee, wat is het verschil?

....

....

- Maak de dunne snaar los en leg hem opzij.
- Zet de klemmen weer 50 cm uit elkaar.
- Span de dikke snaar tussen de twee klemmen. Probeer de spanning net zo groot te maken als die van de dunne snaar.
- Breng de snaar aan het trillen en luister goed.

6 Is de toon hetzelfde als bij de dunne snaar van 50 cm? Zo nee, wat is het verschil?

....

....

- Zet nu de klemmen weer 25 cm uit elkaar en span de dikke snaar ertussen. Probeer de spanning in de snaar weer net zo groot te maken als eerst.
- Breng de snaar weer aan het trillen en luister goed.

7 Is de toon hetzelfde als bij de dikke snaar van 50 cm? Zo nee, wat is het verschil?

....

....

- Span de snaar nu iets strakker.
- Breng hem weer aan het trillen en luister goed.

8 Is de toon veranderd door het spannen? Zo ja, hoe?

....

....

PROEF 4 DE TRILLENDE LINIAAL

10 minuten

Inleiding

Een toonladder bestaat uit tonen met een verschillende toonhoogte. Elke noot heeft zijn eigen toonhoogte. Die toonhoogte heeft te maken met de frequentie van het geluid: het aantal trillingen per seconde.

Doel

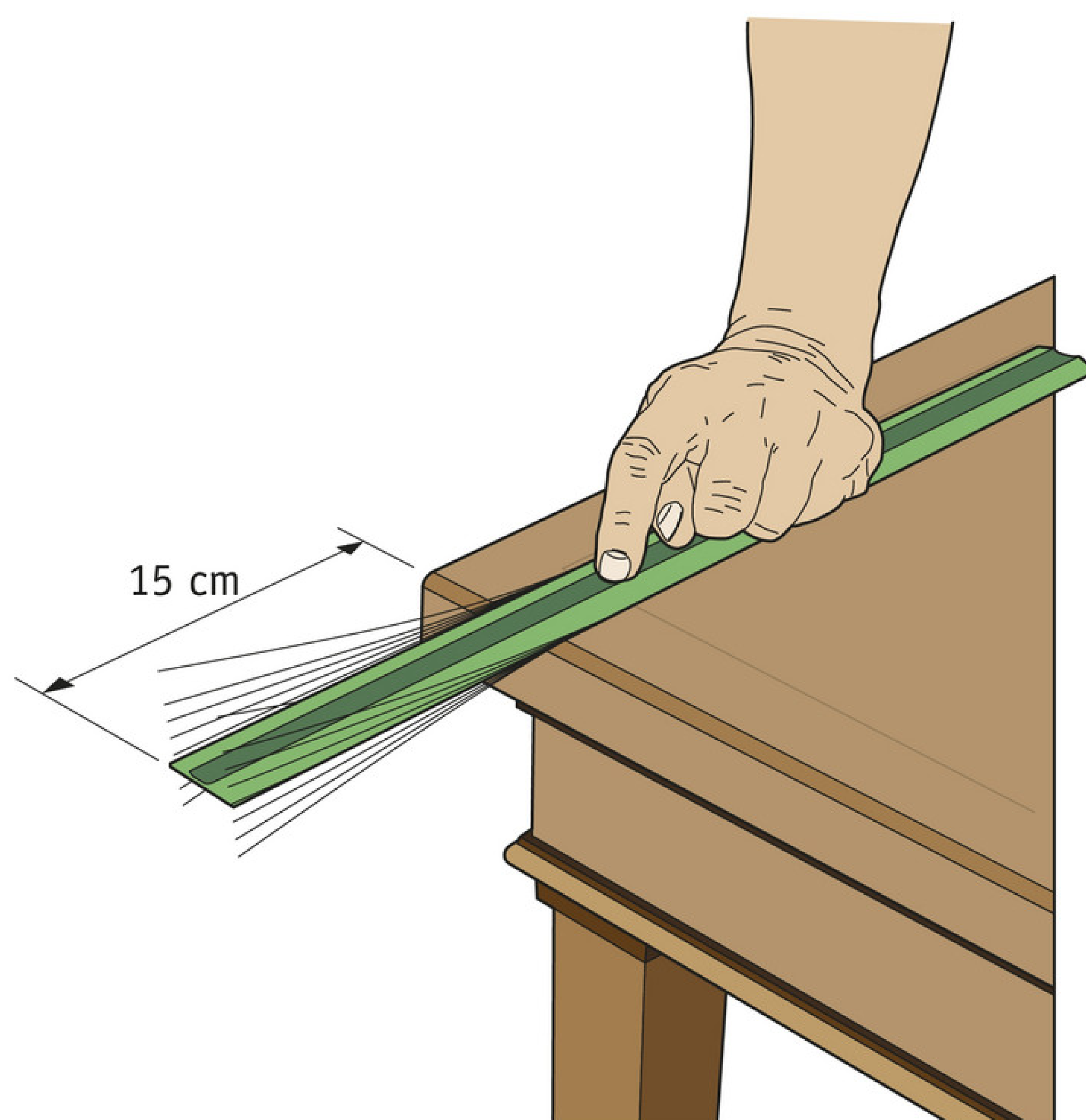
Bij deze proef maak je met een liniaal hoge en lage tonen.

Nodig

☐ metalen liniaal

Uitvoeren en uitwerken

- Duw de liniaal met je hand stevig op tafel. Zorg ervoor dat 15 cm van de liniaal buiten de tafel uitsteekt.
- Breng dit uiteinde in trilling zoals van figuur 3.
- Laat de liniaal 10 cm buiten de tafel uitsteken en breng hem weer in trilling.
- Doe dit nog eens terwijl de liniaal 5 cm uitsteekt.



figuur 3 Zo kun je de liniaal laten trillen.

1 Welk verschil hoor je tussen de geluiden?

....

....

....

2 Wanneer is het geluid het hoogst?

....

....

3 Wanneer is het geluid het laagst?

....

....

4 Waaraan merk je dat de trilling in enkele seconden uitdooft?

....

....

PROEF 5 DE FREQUENTIE VAN EEN TRILLING

45 minuten

Inleiding

Als je het uiteinde van een zaagblad in beweging brengt, gaat het zaagblad trillen met een vaste trillingstijd. Je kunt de lengte van die trillingstijd veranderen door een massastuk aan het uiteinde van het zaagblad vast te maken.

Doel

Je onderzoekt hoe de frequentie van een trillend zaagblad afhangt van de massa aan het uiteinde van het blad.

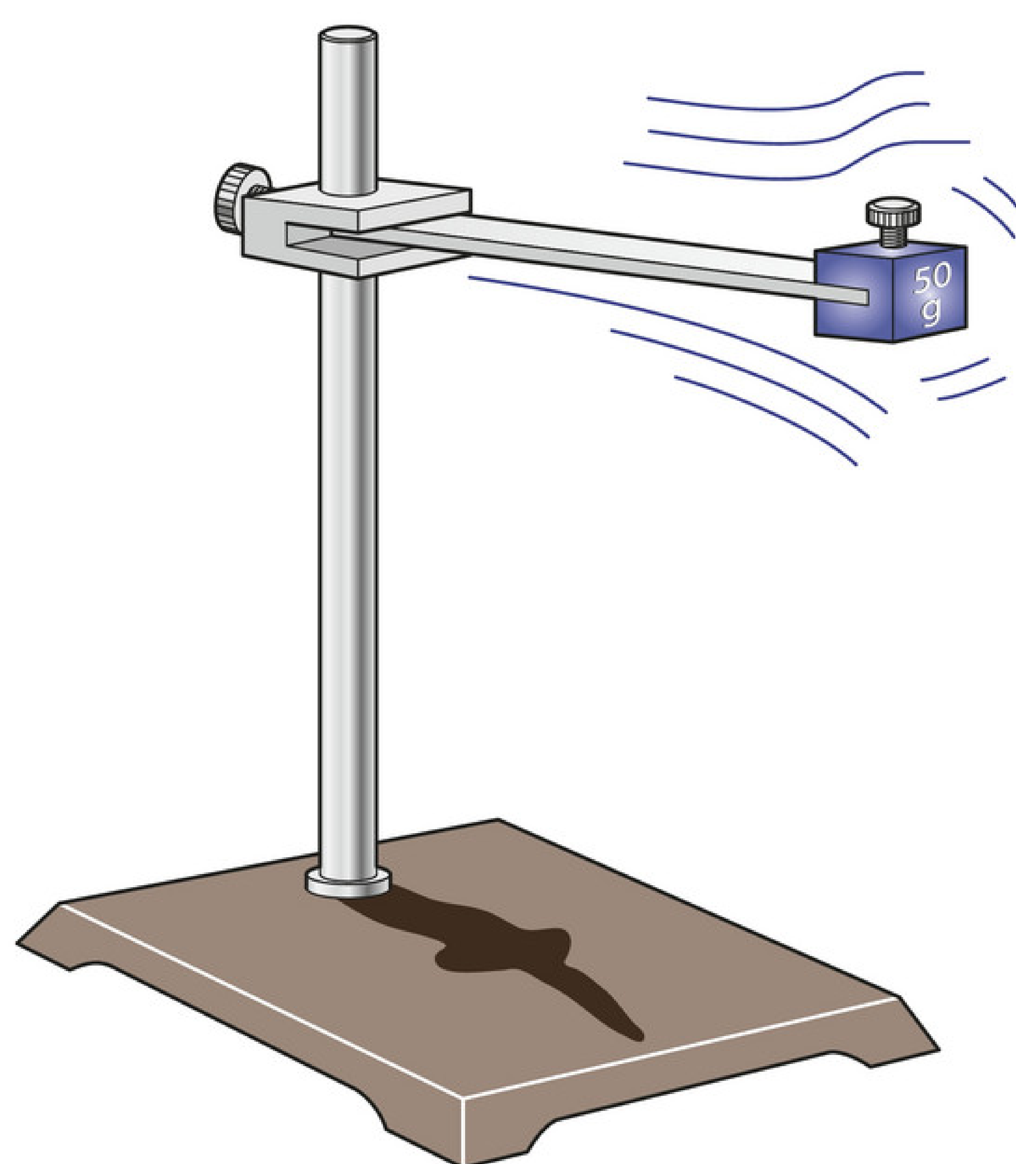
Nodig

- ☐ zaagblad
- ☐ massastukken van 50 g
- ☐ stopwatch
- ☐ statiefmateriaal
- ☐ grafiekpapier

Uitvoeren en uitwerken

Meten

- Maak het zaagblad vast aan je statief, zoals getekend in figuur 4.
- Bevestig een massastuk van 50 g aan het uiteinde van het zaagblad.
- Breng het zaagblad in trilling. Meet met de stopwatch de tijd die nodig is voor tien trillingen. Doe dit in totaal drie keer.



figuur 4 De opstelling van proef 5.

1 Noteer je metingen in tabel 1.

2 Bereken het gemiddelde van de drie metingen. Rond het resultaat af op één decimaal. Noteer dit getal op de juiste plaats in de tabel.

3 Bereken hoeveel tijd nodig is voor één trilling. Deze tijd noem je de trillingstijd *T* van de trilling. Noteer de uitkomst in de tabel.

4 Bereken hoeveel trillingen het zaagblad per seconde uitvoert. Rond af op één decimaal. Dit noem je de frequentie *f* van de trilling. Noteer de uitkomst in de tabel.

- Bevestig aan het uiteinde van het zaagblad achtereenvolgens massastukken van 100 en 150 g. Herhaal de proef en bepaal steeds met welke frequentie het blad dan trilt.

5 Noteer alle meetresultaten in de tabel.

tabel 1 De resultaten van proef 5.

	meting 1	meting 2	meting 3	gemiddelde	*T* (s)	*f* (Hz)
zaagblad met 50 g						
zaagblad met 100 g						
zaagblad met 150 g						

Uitwerken

6 Teken op grafiekpapier een grafiek van je proef waarin je de frequentie uitzet tegen de massa.

7 Welke conclusie kun je uit de grafiek trekken?

....

....

....

....

....

....

8 Wat zal er met de toon van een stemvork gebeuren als je aan elk been een massastuk vastschroeft?

....

....

....

....

PROEF 6 EEN ONDERZOEK UITVOEREN: HET GEVAAR VAN HARDE MUZIEK

45 minuten

Inleiding

Stel je voor: je leest in de krant dat gehoorschade bij jongeren door muziek een "onderschat en groeiend probleem" is. Volgens een onderzoeker heeft het "veel te harde" geluid op festivals en in discotheken "een enorme impact". Andere boosdoeners zijn telefoons die meestal veel te hard staan. Volgens de onderzoeker heeft meer dan de helft van de jongvolwassenen een gehoorverlies van minstens 10 dB. Jij vraagt je af of het allemaal zo erg is en besluit om zelf een onderzoek uit te voeren.

Doel

Bij deze proef doe je een onderzoek naar geluidsniveaus van muziek om te bepalen hoeveel risico de luisteraars lopen. Bedenk zelf een goede onderzoeksvraag voor dit onderzoek.

Nodig

Je kunt het onderzoek uitvoeren met een telefoon of tablet, waarop je een geschikte app hebt gezet. Je kunt zo'n app vinden door "gehoor apps" of "decibelmeter apps" in te typen (inclusief de aanhalingstekens).

Uitvoeren en uitwerken

- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ga je na hoe hard het geluid 'normaal' staat voor jouw luisteraars? Hoe meet je de geluidssterkte (en heb je daarvoor wel de juiste app gekozen)? Hoe leg je een verband tussen jouw meetresultaten en de risico's die de luisteraars lopen?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten.

- Je docent vertelt je of je een verslag van deze proef moet maken.

....

....

....

....

....

....

....

Onhoorbaar geluid in het ziekenhuis



Het allereerste filmpje dat van jou is gemaakt, werd 'gefilmd' met behulp van geluid. Een arts of verloskundige ging met een soort scanner over je moeders buik en op een beeldscherm verscheen jouw lichaam in foetushouding. Je had toen al oren, maar je zult het geluid van de scanner niet gehoord hebben. Het was namelijk ultrasoon geluid. Dit ultrasoon geluid wordt voor nog veel meer medische toepassingen gebruikt, bijvoorbeeld bij het opsporen van afwijkingen (diagnose) en bij het behandelen van ziekten (therapie).

Sonar

Zodra biologen hadden ontdekt hoe vleermuizen hun omgeving konden verkennen, gingen onderzoekers en uitvinders op zoek naar manieren om met geluid dingen zichtbaar te maken die wij niet met onze ogen kunnen zien. Het eerste apparaat waarin deze techniek werd toegepast, was de sonar. In 1912 werd het eerste patent aangevraagd voor een methode om met echo's voorwerpen onder water op te sporen. Voor de Titanic kwam dit te laat. Dit schip zonk een maand eerder, omdat het tegen een ijsberg was gevaren.

Tegenwoordig is het gebruik van sonar heel gewoon. Moderne sonarapparaten zijn al zo goedkoop en klein dat hengelsporters ze gebruiken om vanuit hun bootje vis op te sporen (figuur 1).

Artsen en medisch onderzoekers kwamen al snel op het idee om met een soort sonarsysteem in het menselijk lichaam te kijken. Omdat de organen in een menselijk lichaam veel kleiner zijn dan bijvoorbeeld een duikboot onder water, moest de golflengte van het geluid kleiner zijn dan bij sonar. De frequentie moest omhoog, het geluid moest ultrasoon worden.

Tegenwoordig is het gebruik van sonar heel gewoon.



figuur 1 Hengelsporters gebruiken sonar om vanuit hun bootje vis op te sporen.

Echografie

Deze nieuwe manier om beelden van het lichaam te maken met ultrageluid, werd echografie genoemd. De eerste experimenten met echografie werden tijdens en vlak na de Tweede Wereldoorlog in Oostenrijk en Duitsland uitgevoerd. De onderzoekers probeerden met deze techniek de ligging van hersentumoren te bepalen. Het lukte ze om een heel vaag beeld van de hersenen te krijgen. Tegenwoordig wordt echo-onderzoek steeds meer toegepast. De bron van de geluidsgolven is de zogenaamde *transducer*. Een *transducer* werkt met piëzo-elektrische kristallen. Als je zo'n kristal onder spanning zet, gaat het trillen en zendt het een korte puls ultrageluid uit.

Vanuit de *transducer* gaat het geluid door het lichaam. Bij een overgang van het ene weefsel naar het andere ontstaat er een terugkaatsing van het geluid. Dat komt doordat de geluidssnelheid voor elk type weefsel anders is. De teruggekaatste geluidsgolven worden door de *transducer* opgevangen. De kristallen in de *transducer* kunnen namelijk ook als antennes werken: de teruggekaatste geluidsgolven veroorzaken trillingen in de kristallen en die worden omgezet in elektrische signalen. Een computer zet die signalen vervolgens om in een beeld.

Voordat een arts of verpleegkundige een *transducer* over bijvoorbeeld de buik van een zwangere vrouw beweegt, smeert hij een speciale gel op de huid (figuur 2). De gel is nodig om een goed contact te kunnen maken tussen de *transducer* en het lichaam. Als er lucht tussen beide zit, ontstaat er een enorm sterke reflectie doordat de dichtheid van lucht veel lager is dan die van het lichaam. De geluidsgolven worden dan teruggekaatst en gaan niet meer het lichaam in. De reflecties uit het lichaam zijn dan niet te zien.

3D

Door de *transducer* te bewegen en door de reflecties van de verschillende kristallen naast elkaar weer te geven, kan de computer een driedimensionaal beeld maken van een deel van het lichaam. Het bestuderen van die beelden wordt echoscopie genoemd.

Echoscopie heeft een belangrijk voordeel boven andere manieren om beelden te maken. Zo kun je op een röntgenfoto bijvoorbeeld geen zachte weefsels zien en op een echo wel.

De beelden van een 3D-echo zijn redelijk duidelijk. Toch gaat er informatie verloren doordat de beelden vaak alleen op een gewoon beeldscherm bekeken kunnen worden. Het 3D-beeld is dan eigenlijk 2D.

Zelfs artsen vinden het soms lastig om echobeelden goed te interpreteren. Het Erasmus Medisch Centrum in Rotterdam heeft daar iets op gevonden: de *IntelliSpace*. Dit is een speciale 3D-bioscoop waar artsen echte 3D-beelden van ongeboren baby's kunnen bekijken. De arts zet een speciale bril op en ziet de foetus voor zich in de ruimte hangen. Met een controller kan hij de foetus draaien en deze van verschillende kanten bekijken. De foetus lijkt echt in de ruimte aanwezig en daarom wordt dit soort beelden ook wel aangeduid met *virtual reality*.



figuur 2 Een echoapparaat.

Kankertherapie

Ultrageluid wordt niet alleen gebruikt bij het stellen van een diagnose, maar ook bij allerlei vormen van therapie. Zo kan met ultrageluid bijvoorbeeld kanker behandeld worden. Mensen met kanker hebben cellen in hun lichaam die zich abnormaal delen waardoor er een tumor ontstaat. Met medicijnen proberen artsen zo'n gezwel te vernietigen, maar het is lastig om die medicijnen precies op de juiste plaats te krijgen. Bij de vaak toegepaste chemotherapie worden onbedoeld ook gezonde cellen door de medicijnen aangevallen. Dat kan nare bijverschijnselen geven, zoals misselijkheid en diarree.

Sinds kort is er een alternatief voor de manier waarop chemo wordt toegediend. De medicijnen worden nu in zeer kleine bolletjes naar de tumor gebracht. De bolletjes, nanocapsules genoemd, hopen zich daar op en gaan dan open zodat de medicijnen hun werk kunnen doen. Dat klinkt goed, maar artsen vinden dat het nog te lang duurt voordat de bolletjes daadwerkelijk de medicijnen afleveren. Daarom hebben onderzoekers van de Technische Universiteit Eindhoven en van Philips iets anders bedacht. Ze maken gebruik van het verschijnsel dat de temperatuur omhooggaat als er ultrageluid door het lichaam wordt opgenomen. De onderzoekers hebben nanocapsules gemaakt die alleen opengaan als ze warmer worden dan 42 °C. Zodra de capsules zich in de tumor hebben verzameld, wordt er een bundel ultrageluid op de tumor gericht. De tumor wordt warmer, de capsules gaan snel open en de medicijnen kunnen aan het werk.

OPDRACHTEN

1 Echografie wordt onder andere gebruikt om de foetus in de buik van zwangere vrouwen zichtbaar te maken.

a Waarom wordt de foetus wel zichtbaar (witgrijs), maar geeft het vruchtwater eromheen alleen een zwart beeld?

b Echografie wordt ook gebruikt voor onderzoek naar het hart. Dat heet echocardiografie. Wat zouden artsen willen kunnen zien op een echo van een hart?

c Waarom is de *IntelliSpace* in Rotterdam ook nuttig voor cardiologen (artsen die gespecialiseerd zijn in het hart)?

d Botten en organen met lucht erin (zoals de longen) zijn niet goed met echografie te onderzoeken. Ze geven namelijk een volledig wit beeld.
Leg uit hoe dat komt.

2 Sommige mensen krijgen last van zogenaamde nierstenen. Dat zijn kristallen die ontstaan uit urine. In het ziekenhuis kunnen nierstenen worden kapotgemaakt met een ‘vergruizer’. Dit apparaat werkt met ultrasoon geluid.

a Valt deze behandeling onder diagnose of onder therapie? (In de inleiding van het artikel worden deze termen uitgelegd.)

b Bedenk op welke andere manieren je nierstenen zou kunnen weghalen. Welk voordeel heeft de ultrasoonmethode?

3 Om de plaats van de reflectie te berekenen, gaat de computer bij het maken van een echo uit van een gemiddelde geluidssnelheid van 1540 m/s. In vet is de gemiddelde snelheid kleiner, namelijk tussen 1462 en 1473 m/s.
Er wordt een echo gemaakt van iemand die aan obesitas lijdt. Leg uit of de vetlaag in de echo te dik, te dun of precies goed wordt afgebeeld.

4 Onderzoekers van de TU Eindhoven en van Philips hebben nieuwe behandelmethoden voor kanker ontwikkeld. Bij deze methoden wordt gewerkt met nanocapsules die pas bij 42 °C opengaan.

a Leg uit waarom het belangrijk is dat de capsules niet bij lagere temperaturen opengaan.

b Vroeger werden tumoren verwarmd door er een naald in te steken. Die naald werd er van buiten het lichaam in gestoken. De tip van de naald zond radiogolven uit die warmte in de tumor veroorzaakten.
Waarom was deze methode niet aantrekkelijk?

Leerstofoverzicht

8.1 GELUID MAKEN EN HOREN

ONTHOUD

- Geluid ontstaat door de trillingen in een geluidsbron.
- Geluid heeft een tussenstof nodig waarin de trillingen worden doorgegeven. Dit kan een gas, vloeistof of vaste stof zijn.
- De geluidssnelheid in lucht van 20 °C is 343 m/s.
- Met de formule $s = v \cdot t$ kun je berekenen welke afstand geluid aflegt.
- Als een geluid je oor bereikt, gaat je trommelvlies trillen. Deze trillingen worden omgezet in signalen naar je hersenen: je hoort het geluid.
- Als je spreekt, maak je geluid door je stembanden te laten trillen.

BEGRIPPEN

geluidsbron
Voorwerp dat geluid maakt doordat het voorwerp of iets in het voorwerp trilt.

geluidsgolf
Stroom van afwisselend een hogere en een lagere druk.

geluidssnelheid
Snelheid waarmee het geluid in een tussenstof wordt doorgegeven.

spraakorgaan
Orgaan waarmee je spreekt, bestaand uit je stembanden, mond-, keel- en neusholte en je tong en lippen.

tussenstof
Stof waarin de trillingen zich verplaatsen van de geluidsbron naar je oren.

8.2 TOONHOOGTE EN FREQUENTIE

ONTHOUD

- Een snaar heeft een lagere toon als deze dikker, langer of minder strak gespannen is.
- De frequentie van een toon is het aantal trillingen per seconde. Hoe groter de frequentie, des te hoger is de toon die je hoort.
- De golflengte is de lengte van een gebied met hogere druk en met lagere druk samen.
- Met een oscilloscoop kun je een trilling zichtbaar maken en de trillingstijd aflezen.
- Met de formule $f = \frac{1}{T}$ kun je berekenen welke frequentie er hoort bij een trillingstijd. Als je de trillingstijd T invult in seconde, vind je de frequentie f in hertz (Hz).
- Mensen horen tonen van 20 tot 20 000 Hz. Dit heet het frequentiebereik.
- Ultrasoon geluid heeft een grotere frequentie dan wat de mens kan horen.

BEGRIPPEN

frequentie
Aantal trillingen per seconde.

frequentiebereik
Frequenties die iemand kan horen.

golflengte
Lengte van een gebied met hogere druk en met lagere druk samen.

microfoon
Instrument dat drukverschillen van geluidsgolven vertaalt in een elektrisch signaal.

oscilloscoop
Instrument dat geluidstrillingen op een scherm weergeeft.

stemmen
Een muziekinstrument is gestemd als het zo is ingesteld dat het een toon met de juiste toonhoogte maakt.

tijdbasis
Tijdschaal op de oscilloscoop.

trillingstijd
Tijd die voor één volledige trilling nodig is.

ultrasoon
Geluid met een frequentie groter dan 20 000 Hz.

8.3 GELUIDSSTERKTE

ONTHOUD

- Bij een harder geluid hoort een grotere amplitude.
- De geluidssterkte meet je in decibel (dB) met een decibelmeter. Een toon van 0 dB en een frequentie van 1000 Hz kun je net niet horen.
- Je gehoordrempel en pijngrens hangen af van de frequentie: voor lage en heel hoge tonen zijn je oren minder gevoelig.
- Bij metingen voor geluidshinder wordt een A-filter gebruikt. Dit filter is net als je oren minder gevoelig voor lage en heel hoge tonen. De eenheid van geluidssterkte bij deze meting is dB(A).
- Als het aantal geluidsbronnen twee keer zo groot wordt, neemt de geluidssterkte met 3 dB toe.
- Als de afstand tussen jou en een puntvormige geluidsbron verdubbelt, neemt de geluidssterkte met 6 dB af. Als de afstand tussen jou en een lineaire geluidsbron verdubbelt, neemt de geluidssterkte met 3 dB af.

BEGRIPPEN

A-filter
Filter waarmee je een decibelmeter aanpast aan de gevoeligheid van het menselijk oor. Net als menselijke oren wordt de decibelmeter dan minder gevoelig voor lage en heel hoge tonen.

amplitude
Maximale uitwijking van een trilling ten opzichte van het midden. Als de amplitude groter wordt, neemt de geluidssterkte toe.

decibelmeter
Apparaat waarmee je de geluidssterkte kunt meten.

gehoordrempel
Geluidssterkte waarbij je het geluid net begint te horen.

geluidssterkte
De geluidsterkte geeft aan hoe hard een geluid is. De eenheid van geluidssterkte is decibel (dB).

pijngrens
Geluidssterkte waarbij je oren pijn beginnen te doen.

8.4 GELUIDSOVERLAST BESTRIJDEN

ONTHOUD

- Of een geluid schadelijk is voor je gehoor, hangt af van de geluidssterkte en van de tijdsduur die je aan het geluid blootstaat.
- Het is belangrijk om je oren niet te veel bloot te stellen aan hard geluid om permanente gehoorschade te voorkomen. Een piep in je oor is een teken van – hopelijk tijdelijke – gehoorschade.
- Geluid dat niet schadelijk is, kan wel hinderlijk zijn en bijvoorbeeld slaapgebrek en concentratieproblemen veroorzaken.
- Maatregelen tegen geluidsoverlast kun je nemen bij de geluidsbron, tussen de bron en de ontvanger en bij de ontvanger.
- Geluidswallen en geluidsschermen verminderen overlast door verkeerslawaai. Geluidswallen dempen het geluid door het te absorberen, geluidsschermen weerkaatsen het geluid.

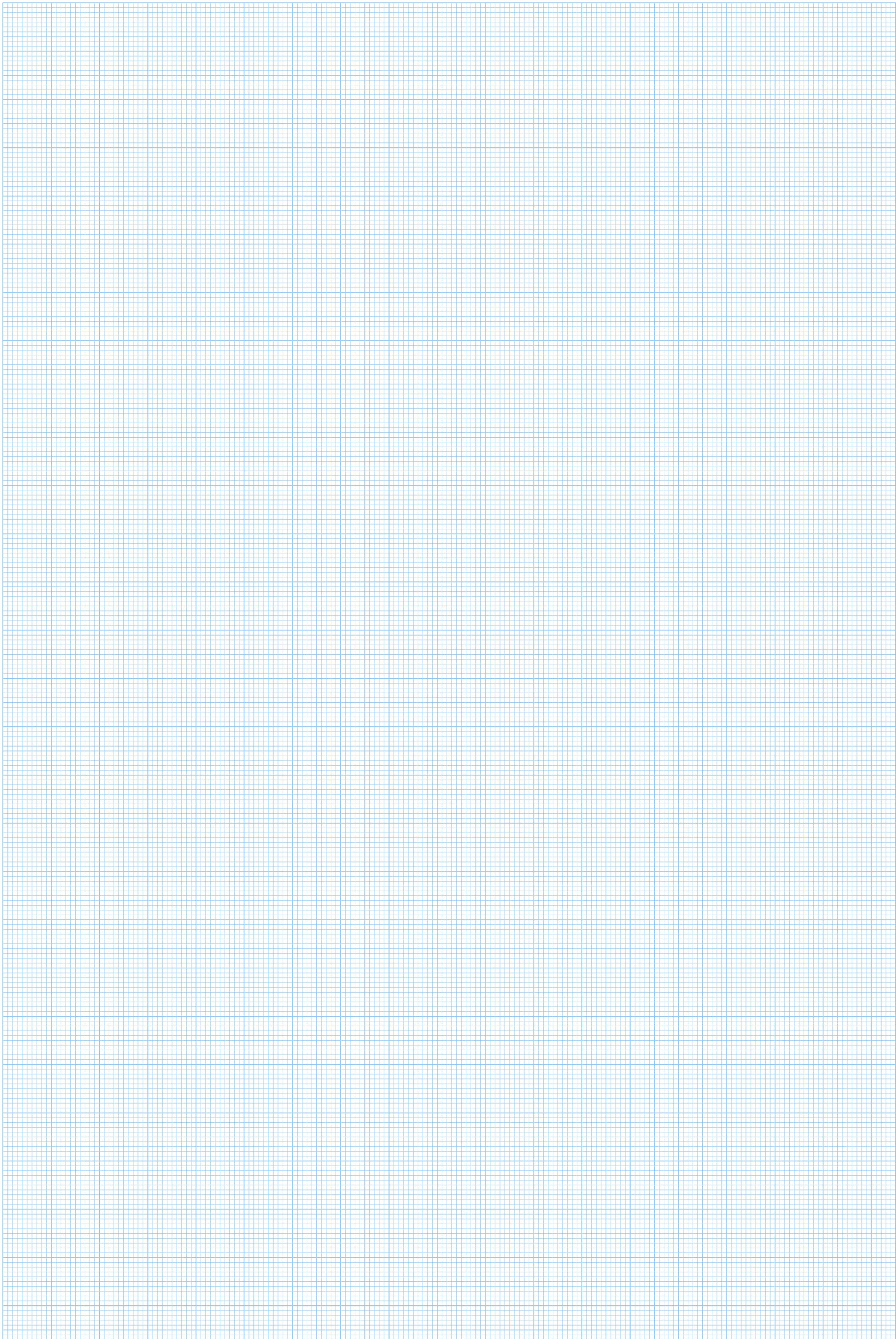
BEGRIPPEN

geluidsscherm
Scherm dat geluid terug kan kaatsen.

geluidsisolatie
Laag isolatiemateriaal om het geluid te absorberen, bijvoorbeeld glaswol.

geluidswal
Dikke laag aarde langs bijvoorbeeld de snelweg die het geluid absorbeert.


Ga naar de *Flitskaarten* en de *Diagnostische toets*.



Vaardigheden

ONDERZOEK DOEN
Bij het vak natuur- en scheikunde leer je om onderzoek te doen. Je werkt met practicumapparatuur, voert metingen uit, tekent grafieken en maakt berekeningen. Dit deel van het boek gaat over de vaardigheden die je daarvoor nodig hebt.



1 Onderzoek doen

Bij het vak natuur- en scheikunde leer je om zelf onderzoek uit te voeren. Bij het doen van onderzoek ga je stap voor stap te werk.

Stap 1 **Bedenk een onderzoeksvraag**
Meestal staat de onderzoeksvraag al in het boek vermeld. Dan ben je natuurlijk snel klaar. Soms mag je zelf een onderzoeksvraag bedenken. Wees daarbij niet te gauw tevreden. Je moet wel een idee hebben hoe je jouw vraag kunt beantwoorden.

Stap 2 **Maak een werkplan**
In je werkplan schrijf je op:
- welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
- welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
- welke grootheden je gaat meten;
- (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

In figuur 1 zie je een voorbeeld van zo'n werkplan.

Werkplan van: Eileen en Jamila

Onderzoeksvraag: Wat is de hoogste toon die we kunnen horen?

1 Materialen en apparatuur

* Toongenerator
* Versterker
* Hoge-tonen-luidspreker

2 Opstelling

3 Metingen

Jamila maakt met de toongenerator een steeds hogere toon. Eileen zegt 'stop' als ze geen geluid meer hoort. Jamila kijkt dan op de toongenerator hoe hoog de toon is. Dit doen we een paar keer om te zien of er steeds hetzelfde uitkomt. Daarna gaan we de proef nog eens doen, maar nu luistert Jamila en draait Eileen aan de toongenerator.

figuur 1 Zo ziet een werkplan eruit.

Stap 3 **Uitvoeren en uitwerken**
Je gaat nu metingen uitvoeren en uitwerken.
Zie ook de vaardigheden 5 tot en met 11.

Stap 4 **Conclusies trekken**
Als alles goed is gegaan, kun je nu conclusies trekken. Probeer een antwoord te geven op je onderzoeksvraag. Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

Stap 5 **Een verslag maken**
Tot slot maak je van je onderzoek een verslag. Zie de vaardigheid *Een verslag schrijven*.

2 Werken met grootheden en eenheden

Bij proeven en onderzoeksopdrachten doe je vaak metingen. Je gebruikt een meetinstrument om een getalwaarde te vinden voor een eigenschap, zoals de lengte of de temperatuur.

Grootheden

Een grootheid is een eigenschap die je kunt meten met een meetinstrument. Voorbeelden van grootheden zijn lengte, massa en temperatuur. Je kunt deze grootheden meten met een meetlat (voor de lengte, zie figuur 2), een weegschaal (voor de massa) en een thermometer (voor de temperatuur).



figuur 2 Je meet de grootheid lengte in de eenheid meter.

Eenheden

Om een grootheid te kunnen meten, moet je eerst een maat met elkaar afspreken. Zo'n maat noem je een eenheid. Je meet je lengte in meters, je massa in kilogrammen en je lichaamstemperatuur in graden Celsius.

Voor elke grootheid bestaat een internationaal erkende SI-eenheid, zoals de meter voor de lengte, de seconde voor de tijd en ampère voor de stroomsterkte. In het dagelijks leven worden daarnaast ook andere eenheden gebruikt. Mensen doen dat, omdat ze zo'n eenheid handiger vinden of omdat ze het nu eenmaal zo gewend zijn.

Meetresultaten noteren

- Ga voor de meting na in welke eenheid je meetinstrument de uitkomst weergeeft. Vaak is dat meteen duidelijk, maar soms moet je eerst even goed kijken.
- Noteer een meetresultaat altijd meteen nadat je de meting hebt gedaan.
- Doe je maar één meting? Noteer het meetresultaat dan in de vorm:
  [grootheid] = [getal] [eenheid].
  Bijvoorbeeld: massa = 237 gram of: m = 237 g.
- Doe je een serie metingen? Noteer je meetresultaten dan in een tabel. Zet boven elke kolom met getallen:
  - welke grootheid je hebt gemeten;
  - welke eenheid je hebt gebruikt (tussen haakjes).

In tabel 1 vind je een overzicht van de grootheden en eenheden die je in dit boek tegenkomt. In de derde en vierde kolom staan de SI-eenheden. Andere veel gebruikte eenheden staan in de laatste twee kolommen.

Soms is het nodig om een gegeven om te rekenen van de ene eenheid naar de andere (bijvoorbeeld van km/h naar m/s). Zie daarover vaardigheid 4.

tabel 1 Grootheden en eenheden.

grootheid	afkorting	SI-eenheid	afkorting	andere eenheid	afkorting
dichtheid	*ρ*	kilogram per kubieke meter	kg/m^3	gram per kubieke centimeter	g/cm^3
frequentie	*f*	hertz	Hz	-	-
lengte, afstand	*l*	meter	m	-	-
luchtdruk, gasdruk	*p*	pascal	Pa	bar	-
massa	*m*	kilogram	kg	-	-
snelheid	*v*	meter per seconde	m/s	kilometer per uur	km/h
spanning	*U*	volt	V	-	-
stroomsterkte	*I*	ampère	A	-	-
temperatuur	*T*	kelvin	K	graden Celsius	°C
tijd	*t*	seconde	s	minuut, uur	min, h
vermogen	*P*	watt	W	-	-
volume	*V*	kubieke meter	m^3	liter	L

3 Werken met voorvoegsels

Soms is een eenheid onhandig groot of juist onhandig klein. Daarom is er een manier bedacht om eenheden 'op maat' te kunnen maken.

De voorvoegsels in tabel 2 kun je in principe voor elke eenheid zetten. Zo kun je afgeleide eenheden maken die 10, 100 of 1000 keer zo groot óf zo klein zijn als de originele eenheid. Op die manier kun je de grootte van de eenheid aanpassen aan de situatie: kilogrammen voor de massa van je lichaam, milligrammen voor de werkzame stof in een tablet.

In de praktijk worden sommige combinaties veel gebruikt en andere (bijna) nooit. De decibel (dB) is bijvoorbeeld een populaire eenheid, de decivolt (dV) en de deciwatt (dW) kom je nooit tegen.



figuur 3 Een pijnstiller met 500 mg werkzame stof per tablet.

Een eenheid kiezen

- Kijk bij proeven welke eenheid op het meetinstrument vermeld staat. Meestal is het het handigst om die eenheid te gebruiken.
- Kies een kleinere eenheid, als je anders op een erg klein getal (< 0,1) uitkomt. Noteer de uitkomst van een volumemeting bijvoorbeeld als 25 mL en niet als 0,025 L.
- Gebruik een grotere eenheid, als je anders op een erg groot getal (> 1000) uitkomt. Noteer de uitkomst van een berekening bijvoorbeeld als 340 km en niet als 340 000 m.

Soms is het nodig om een gegeven om te rekenen van de ene eenheid naar de andere (bijvoorbeeld van mA naar A). Zie daarover vaardigheid 4.

tabel 2 Voorvoegsels en hun betekenis.

voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
kilo	k	1000	1 kg = 1000 g
hecto	h	100	1 hPa = 100 Pa
deca	da	10	1 dam = 10 m
deci	d	1/10 = 0,1	1 dL = 0,1 L
centi	c	1/100 = 0,01	1 cm = 0,01 m
milli	m	1/1000 = 0,001	1 mA = 0,001 A

4 Eenheden omrekenen

Vaak is het nodig om een eenheid om te rekenen van de ene eenheid naar de andere. Dat doe je bijvoorbeeld als je de snelheid in m/s hebt uitgerekend en iemand je vraagt wat dat in km/h is.

Bij het omrekenen van eenheden ga je als volgt te werk:

Stap 1 **Noteer een gelijkheid met links de ene eenheid en rechts de andere.**

Stap 2 **Ga na met welk getal je moet vermenigvuldigen of delen.**

Stap 3 **Voer de juiste vermenigvuldiging of deling uit en noteer het resultaat.**

VOORBEELDOPDRACHT 1
In een maatcilinder zit 0,125 L water. Hoeveel milliliter is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 1 L gelijk is aan 1000 mL; zie figuur 4.
Stap 2: Je gaat van liter naar milliliter, dus je moet vermenigvuldigen met 1000.
Stap 3: Uitrekenen: Het volume van het water = 0,125 × 1000 = 125 mL

VOORBEELDOPDRACHT 2
Een stroommeter geeft 82 mA. Hoeveel ampère is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 1 A gelijk is aan 1000 mA.
Stap 2: Je gaat van mA naar A, dus je moet delen door 1000.

Stap 3: Uitrekenen: De stroomsterkte = $\frac{82}{1000}$ = 0,082 A

VOORBEELDOPDRACHT 3
Een fietser rijdt met een snelheid van 5,2 m/s. Hoeveel km/h is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 10 m/s gelijk is aan 36 km/h.
Stap 2: Je gaat van m/s naar km/h, dus vermenigvuldig je met 3,6.
Stap 3: Uitrekenen: De snelheid = 5,2 × 3,6 = 19 km/h



figuur 4 Zoals je op deze maatkan kunt zien, is 1 L gelijk aan 1000 mL.

5 Meetinstrumenten aflezen

Als je een meting doet, lees je een meetwaarde – een getal – af op een meetinstrument. Bij het ene meetinstrument is dat gemakkelijker dan bij het andere.

Een digitaal meetinstrument, zoals een stopwatch of een digitale koortsthermometer, werkt elektronisch. De meetwaarde wordt in cijfers op een scherm weergegeven. Dit soort meters maakt het je erg gemakkelijk: je hoeft alleen de cijfers te noteren.

Een analoog meetinstrument, zoals een maatcilinder of een analoge spanningsmeter, heeft een schaalverdeling. Je leest een maatcilinder af door te kijken bij welk streepje de vloeistofspiegel zich bevindt. Bij een analoge spanningsmeter kijk je bij welk streepje de wijzer stilstaat.

Bij deze meetinstrumenten kun je niet meteen de meetwaarde aflezen.
Eerst moet je weten hoeveel elk streepje 'waard' is. Daar kun je als volgt achterkomen:

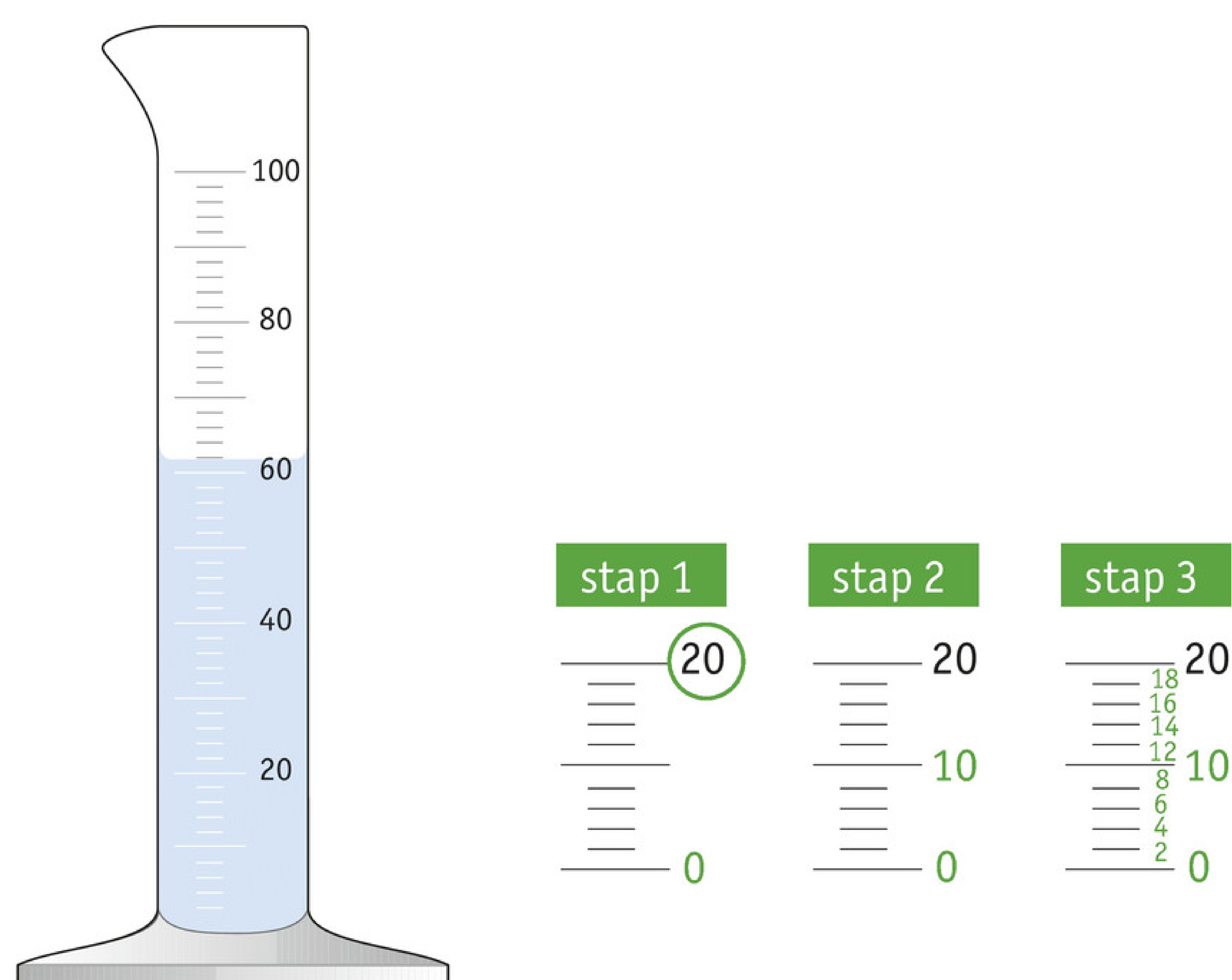
Stap 1 **Ga van de 0 naar het eerste streepje met een getal.**
Bij de maatcilinder in figuur 5 is dat het streepje waar 20 bij staat.

Stap 2 **Ga naar het streepje halverwege de 0 en het eerste getal.**
Bedenk welk getal bij dit streepje hoort. Bij de maatcilinder is dat 10.

Stap 3 **Bedenk nu wat elk streepje van de schaalverdeling waard is.**
Tel van 0 naar het eerste getal om te controleren of alles klopt.
Bij de maatcilinder gaat het goed als je in stappen van 2 mL telt.

Elk streepje van de maatcilinder is dus 2 mL waard.
Ga zelf na dat er 62 mL water in de maatcilinder zit.

Bij andere meetinstrumenten met een schaalverdeling ga je op dezelfde manier te werk.



figuur 5 Zo lees je een maatcilinder af.

6 Werken met een brander

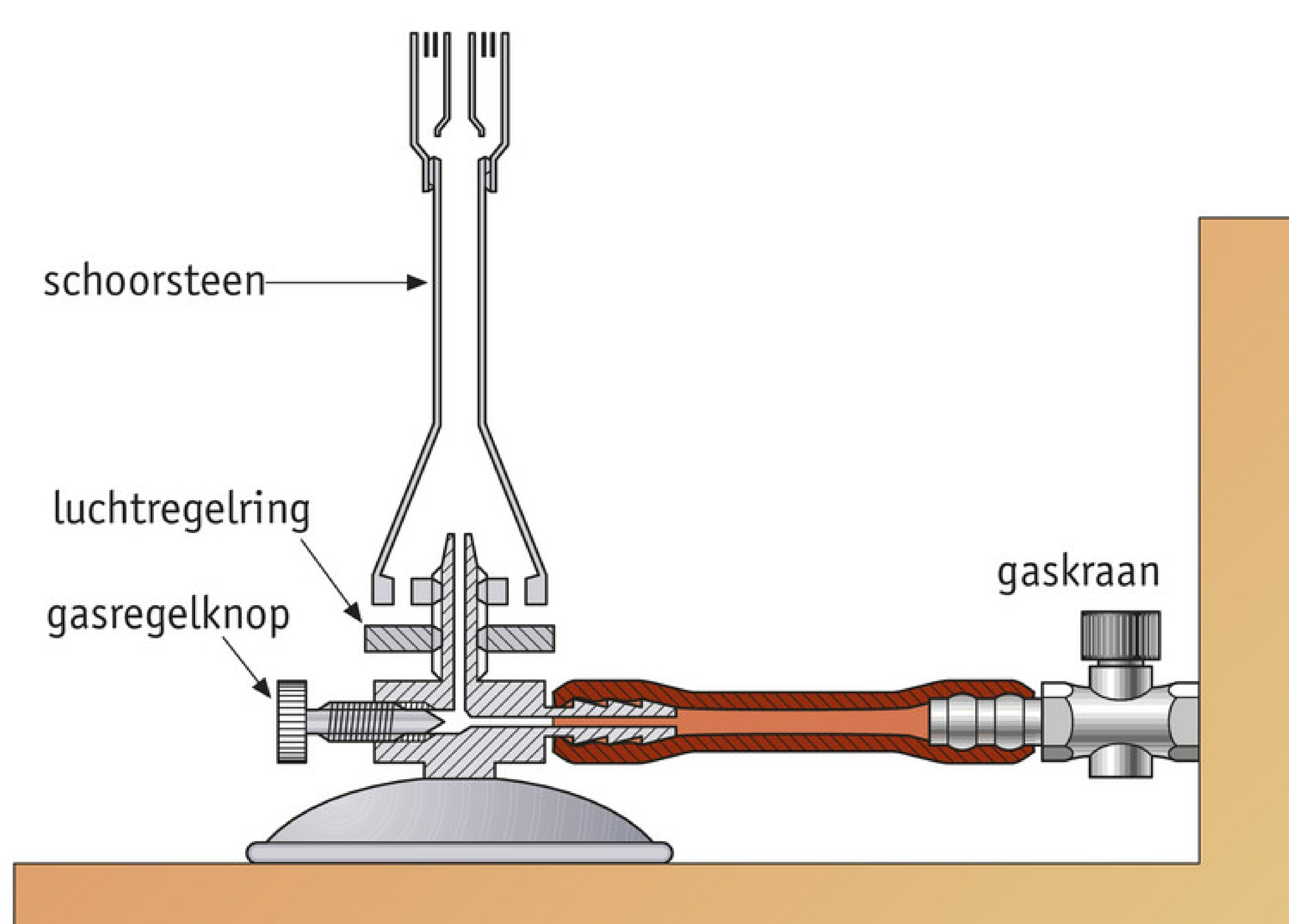
Bij het vak natuur- en scheikunde gebruik je af en toe een brander. Hieronder staat hoe je ermee moet werken.

Veiligheid

- Houd je aan de veiligheidsregels die je docent met je heeft besproken.

Vooraf

- Controleer of de gasregelknop en de luchtregelring van de brander dicht zijn (figuur 6). Zo niet, draai ze dan dicht.



figuur 6 De onderdelen van een brander.

Aansteken

- Draai de gaskraan op je tafel open.
- Houd een brandende lucifer boven de brander.
- Draai de gasregelknop open.
- De brander brandt nu met een goed zichtbare, gele vlam.

Verwarmen

- Draai de luchtregelring open.
- De brander brandt nu met een slecht zichtbare, blauwe vlam. Deze blauwe vlam is veel heter dan de gele vlam. Om iets te verwarmen, gebruik je meestal een zacht ruisende, blauwe vlam (en nooit een gele vlam).

Proef onderbreken

- Laat de brander niet alleen als hij met een blauwe vlam brandt.
- Draai altijd eerst de luchtregelring dicht.
- De brander brandt dan met een goed zichtbare gele vlam.

Uitdoen

- Draai de luchtregelring dicht.
- Draai de gaskraan op je tafel dicht.
- Draai de gasregelknop dicht.

7 Werken met een spanningsmeter

Bij proeven met elektriciteit wordt vaak een spanningsmeter gebruikt. Je moet zo'n meter op de juiste manier aansluiten.

Aansluiten

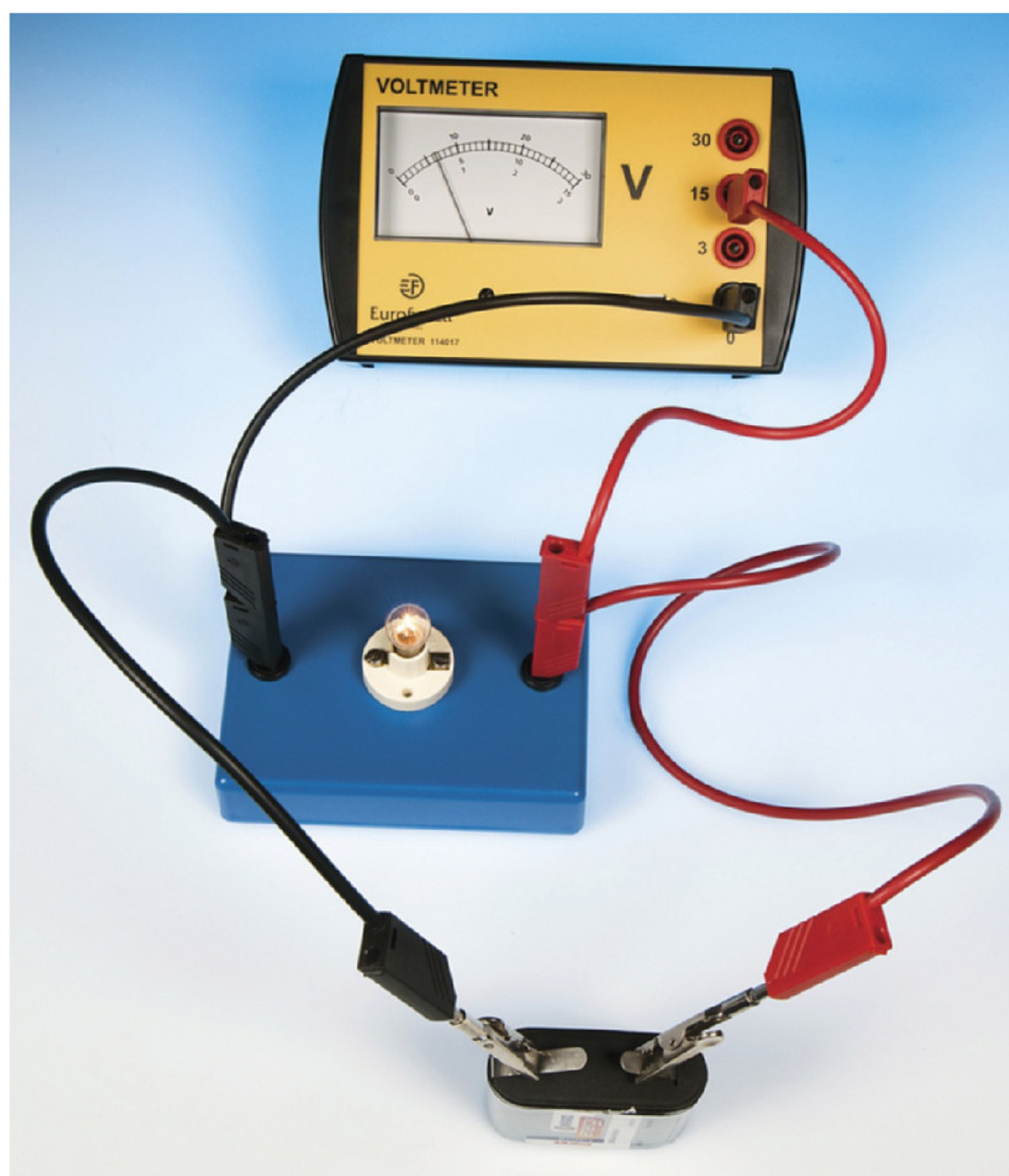
- Om de spanning 'over' een lampje te meten, schakel je de spanningsmeter parallel met het lampje. Zie figuur 7.
- Verbind de plus-pool van de batterij of voeding met de plus-aansluiting op de spanningsmeter. De wijzer beweegt dan de goede kant op. Als het toch fout gaat, sluit dan de twee snoeren 'andersom' op de meter aan.

Meetbereiken

- Veel spanningsmeters hebben verschillende meetbereiken. De meter in figuur 7 heeft bijvoorbeeld drie meetbereiken: 0–3 volt, 0–15 volt en 0–30 volt. Als je het meetbereik van 0–3 volt gebruikt, kun je spanningen meten tot maximaal 3 volt.
- Voer eerst een 'testmeting' uit met het grootste meetbereik. Zo voorkom je dat de meter kapotgaat. Je ziet dan vanzelf of je een kleiner meetbereik kunt gebruiken.
- Doe de meting daarna met het kleinst mogelijke meetbereik. Dan slaat de wijzer verder uit en kun je nauwkeuriger aflezen wat hij aanwijst.

Aflezen

- Kijk altijd zo recht mogelijk op de meter en doe je best om nauwkeurig af te lezen.



figuur 7 Zo sluit je een spanningsmeter aan.

8 Werken met een stroommeter

Bij proeven met elektriciteit wordt vaak een stroommeter gebruikt. Je moet zo'n meter op de juiste manier aansluiten.

Aansluiten

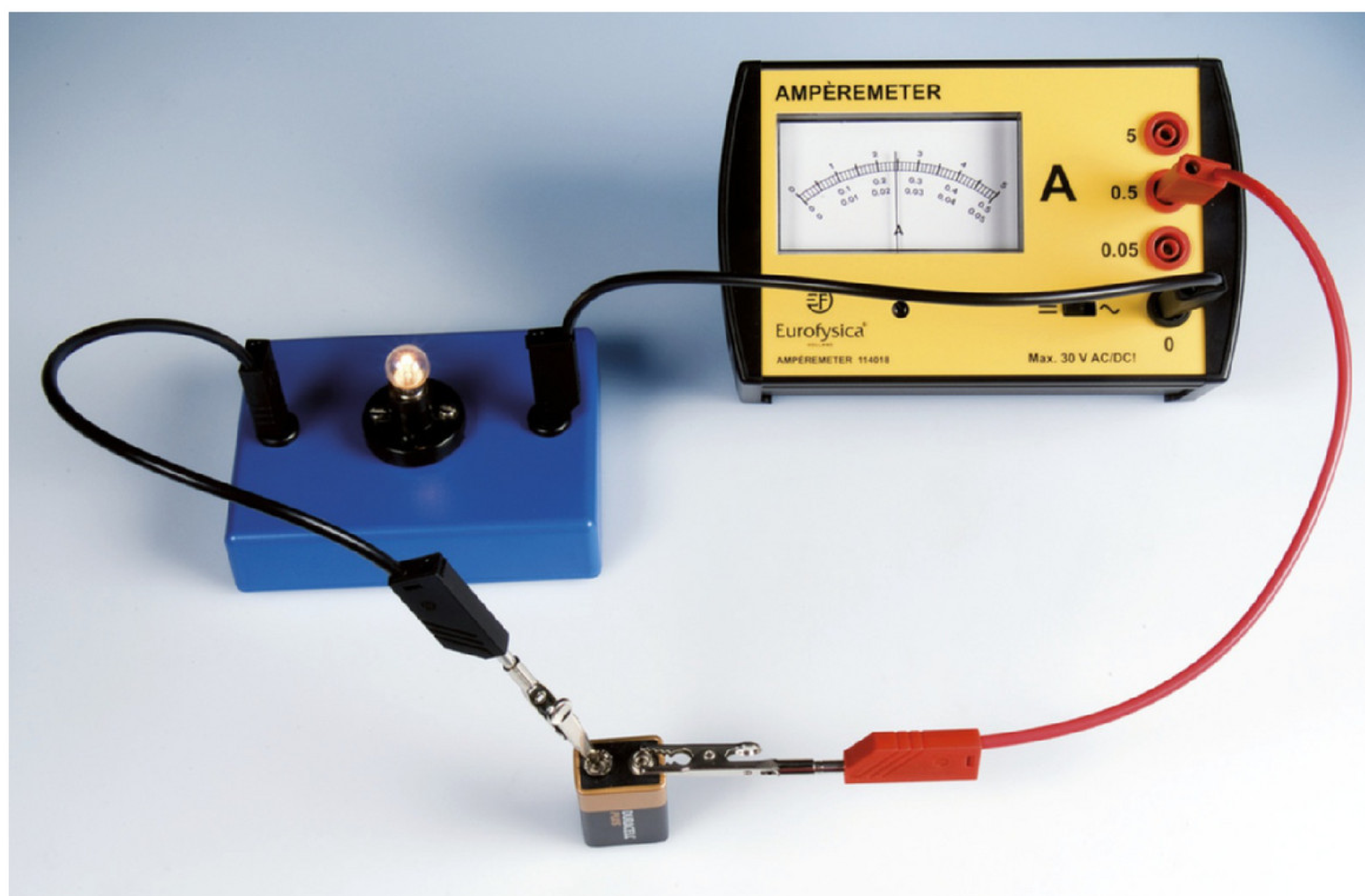
- Om de stroomsterkte door een lampje te meten, schakel je de stroommeter in serie met het lampje. De stroom door het lampje loopt dan ook door de meter.
- Verbind de plus-pool van de batterij of voeding met de plus-aansluiting op de stroommeter. De wijzer beweegt dan de goede kant op. Als het toch fout gaat, sluit dan de twee snoeren 'andersom' op de meter aan.

Meetbereiken

- Meestal kun je op de stroommeter verschillende meetbereiken kiezen. De meter in figuur 8 heeft er drie: 0-50 mA, 0-500 mA en 0-5 A. Als je het meetbereik van 0–500 mA gebruikt, kun je stromen meten tot maximaal 500 mA.
- Voer eerst een 'testmeting' uit met het grootste meetbereik. Zo voorkom je dat de meter kapotgaat. Je ziet dan vanzelf of je een kleiner meetbereik kunt gebruiken.
- Doe de meting daarna zo mogelijk met een kleiner meetbereik. Als je ziet dat de stroomsterkte 30 à 40 mA is, schakel je bijvoorbeeld over op 0-50 mA. Dan slaat de wijzer flink ver uit en kun je nauwkeurig aflezen wat hij aanwijst.

Aflezen

- Kijk altijd zo recht mogelijk op de meter en doe je best om nauwkeurig af te lezen.



figuur 8 Zo sluit je een stroommeter aan.

9 Werken met een multimeter

Bij proeven met elektriciteit kun je een multimeter gebruiken in plaats van een spanningsmeter of een stroommeter. Met een draaiknop op de meter kun je eenvoudig de te meten grootheid en het gewenste meetbereik kiezen (figuur 9).

De spanning meten

- Zet de draaiknop in het gebied DCV of V= en kies het hoogste meetbereik.
- Sluit de multimeter aan als een spanningsmeter: parallel met het lampje.
- Voer een ‘testmeting’ uit. Herhaal dit zo nodig met een kleiner meetbereik.
- Voer ten slotte de ‘echte’ meting uit met het kleinst mogelijke meetbereik.

De stroomsterkte meten

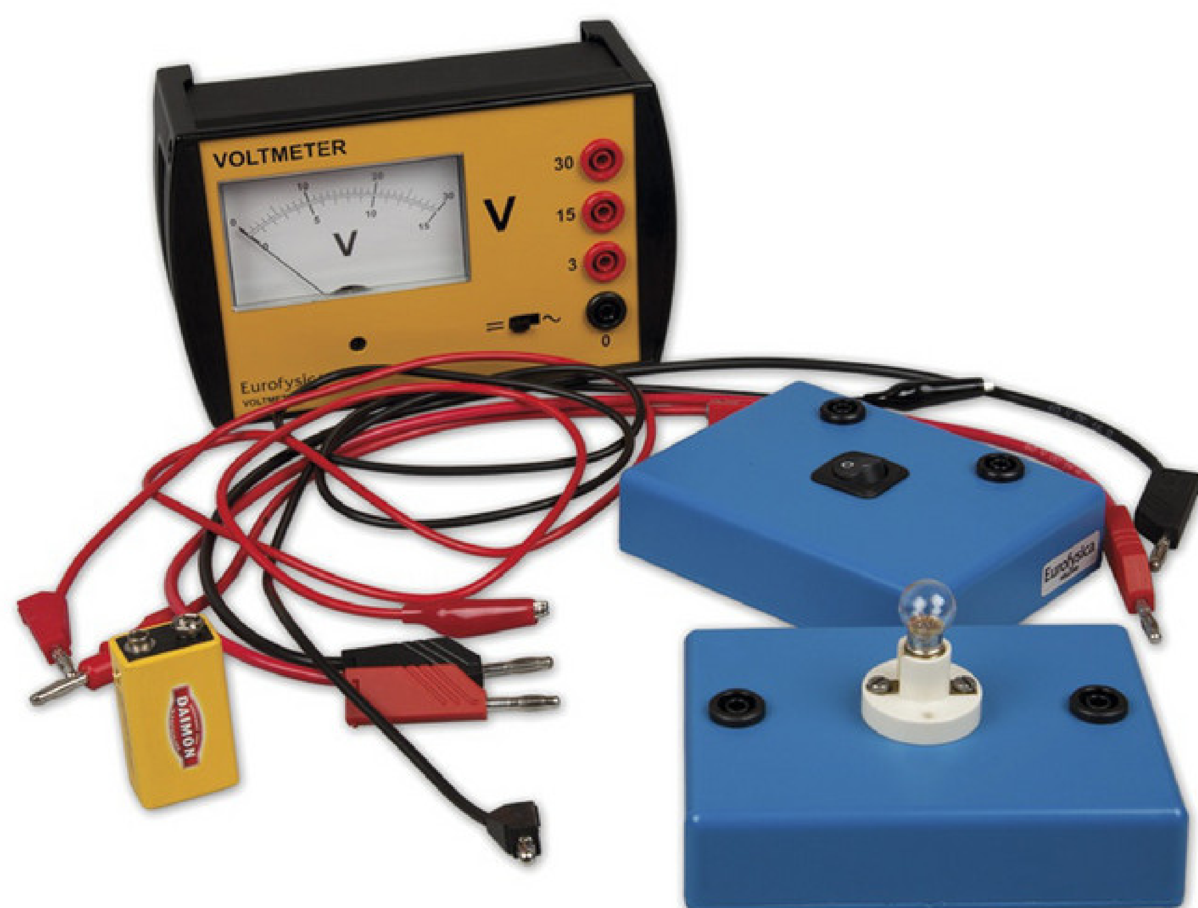
- Zet de draaiknop in het gebied DCA of A= en kies het hoogste meetbereik.
- Sluit de multimeter aan als een stroommeter: in serie met het lampje.
- Voer een ‘testmeting’ uit. Herhaal dit zo nodig met een kleiner meetbereik.
- Voer ten slotte de ‘echte’ meting uit met het kleinst mogelijke meetbereik.

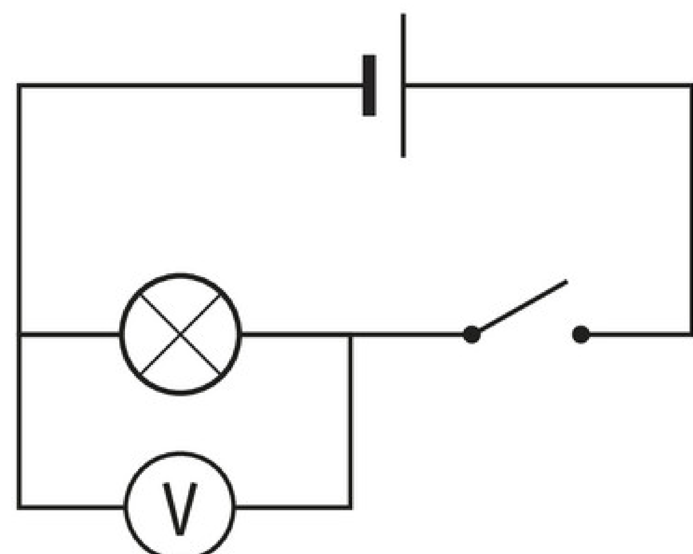


figuur 9 Een multimeter.

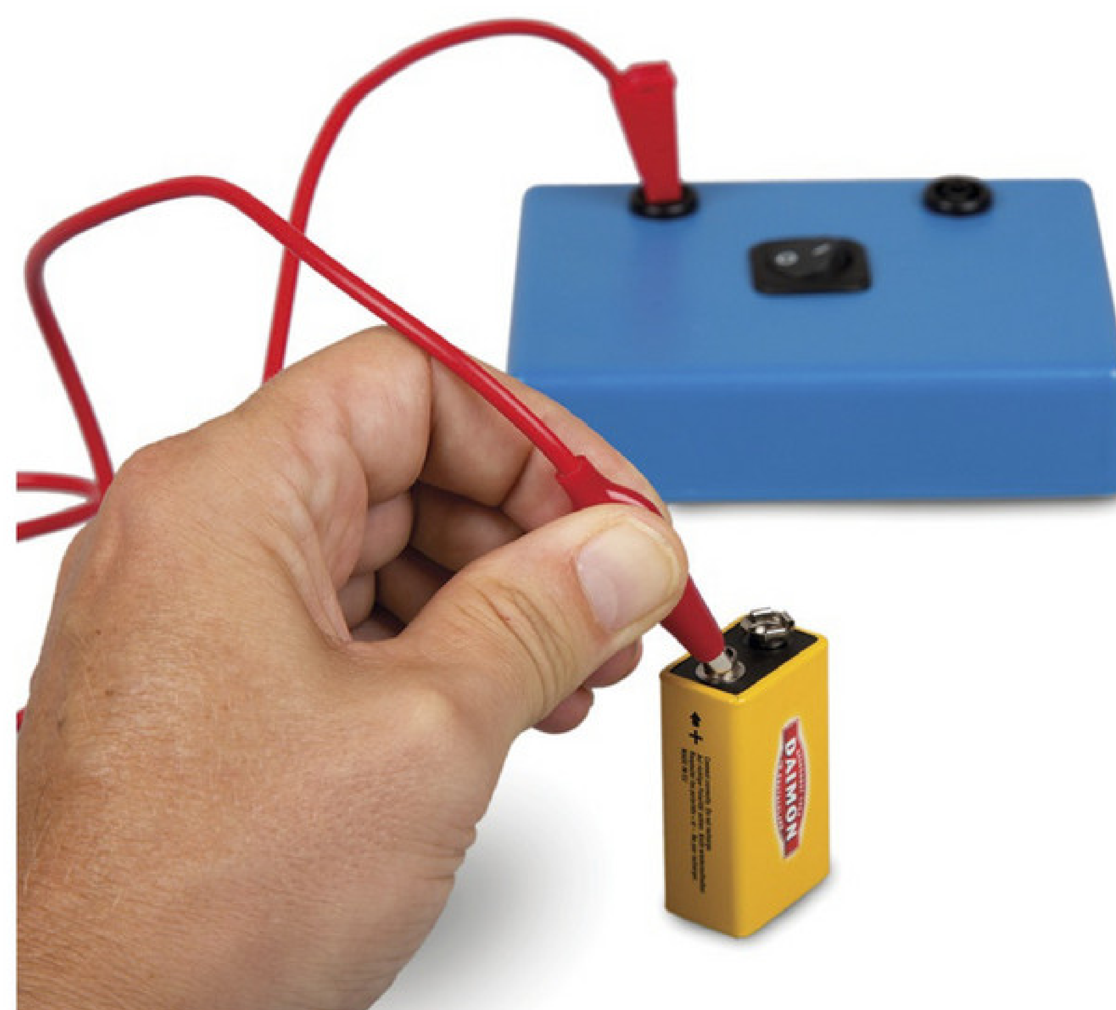
10 Schakelingen bouwen

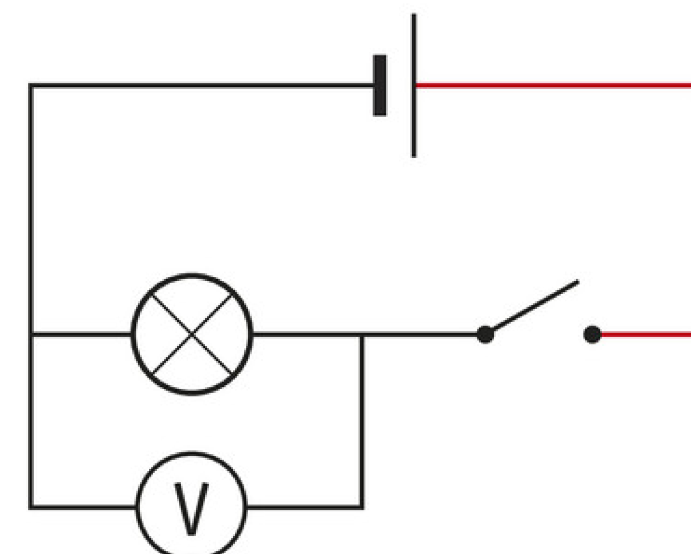
Bij sommige proeven bouw je een schakeling aan de hand van een schakelschema. Je kunt zo'n schakeling het beste stap voor stap opbouwen. In figuur 10 zie je hoe dat werkt.



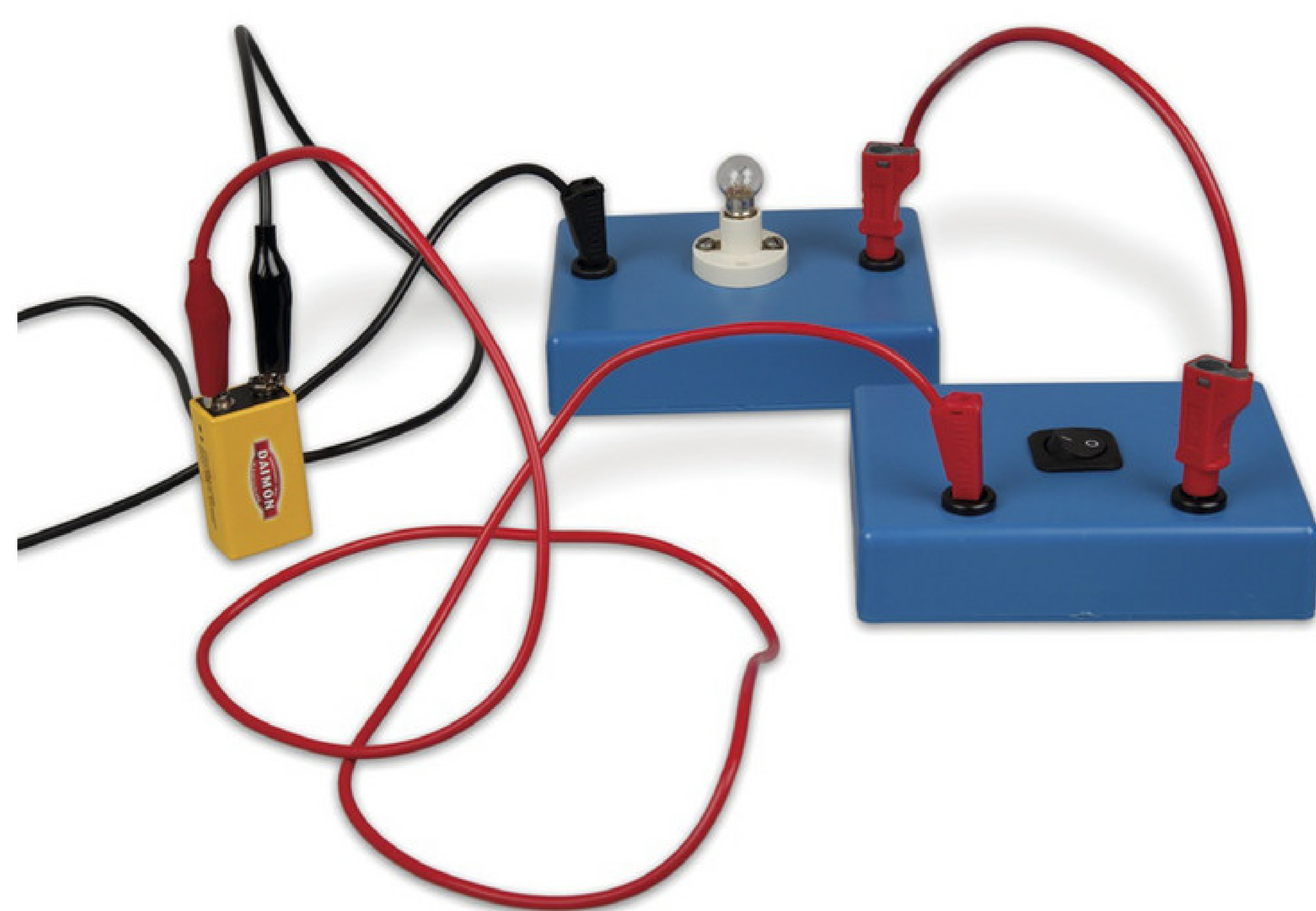


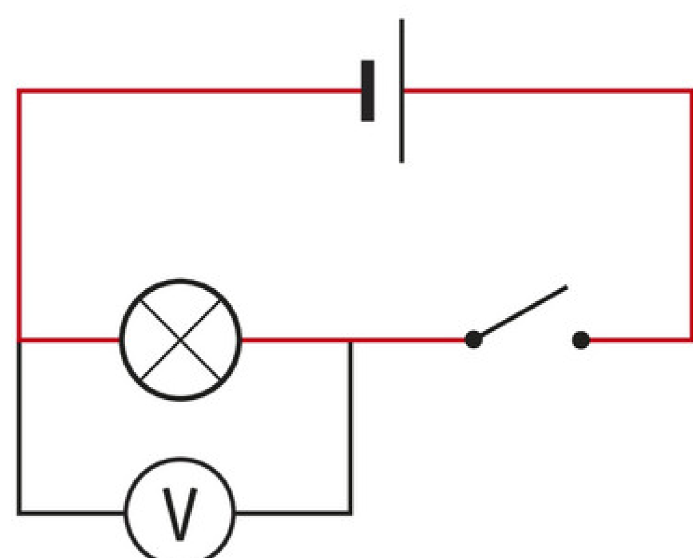
1 Verzamel de verschillende onderdelen.





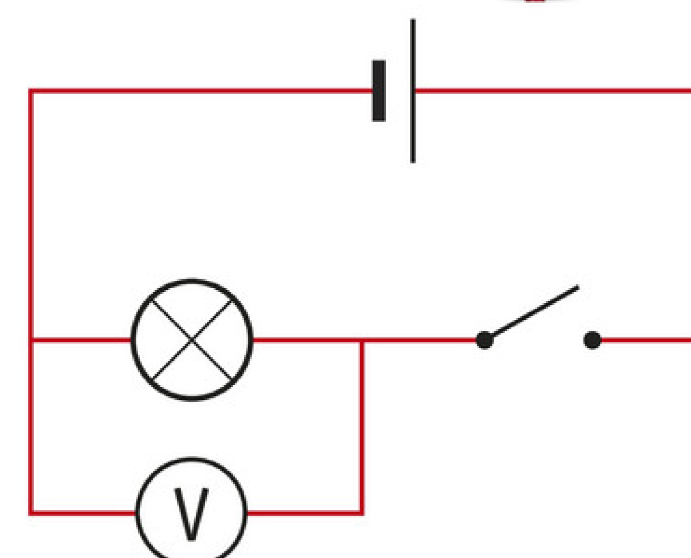
2 Begin met een rood snoer aan de plus-kant.





3 Sluit het lampje en de schakelaar aan: in serie.





4 Sluit de spanningsmeter aan: parallel met het lampje.

figuur 10 Een schakeling bouwen.

11 Werken met een oscilloscoop

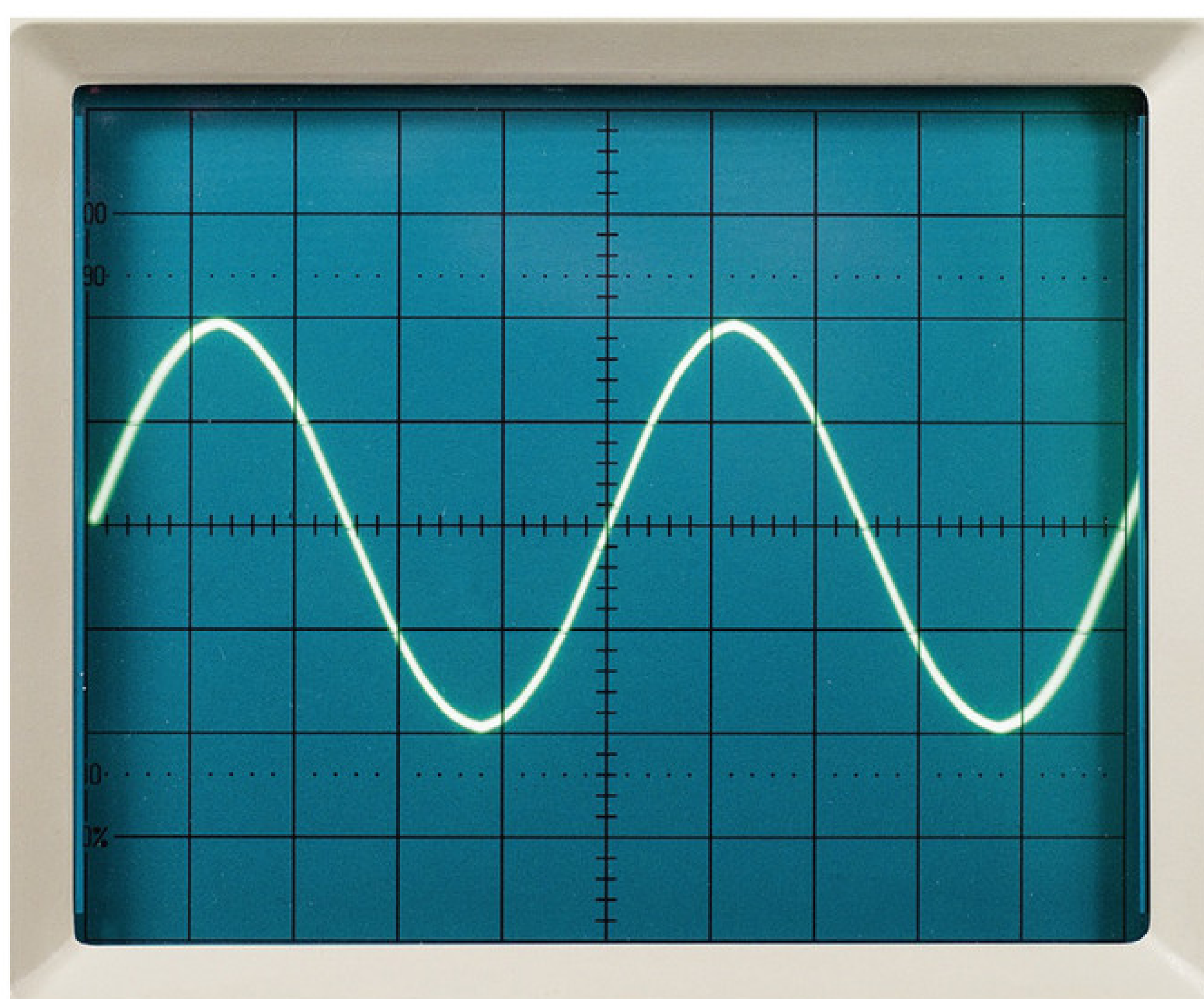
Met een oscilloscoop kun je de frequentie van een toon bepalen. Daarvoor moet je een microfoon aansluiten op de ingang van de oscilloscoop. Op het scherm verschijnt dan een afbeelding van de geluidstrilling.

De tijdbasis

Het scherm van de oscilloscoop is verdeeld in vakjes. Langs de horizontale as is de tijd uitgezet. Als één vakje 2 milliseconden breed is, zeg je dat de tijdbasis op 2 milliseconden per onderverdeling (2 ms/div) staat ingesteld. Je kunt de tijdbasis zelf instellen op de oscilloscoop.

De tijdbasis instellen

- Soms zijn er te veel trillingen op het scherm te zien. Stel de tijdbasis dan in op een kleinere waarde.
- Soms is er maar een klein stukje van één trilling te zien. Stel de tijdbasis dan in op een grotere waarde.
- De tijdbasis is goed ingesteld als er enkele trillingen op het scherm te zien zijn. Je kunt dan goed op het scherm aflezen hoeveel tijd voor één trilling nodig is (figuur 11).



figuur 11 Het oscilloscoopbeeld van een trilling.

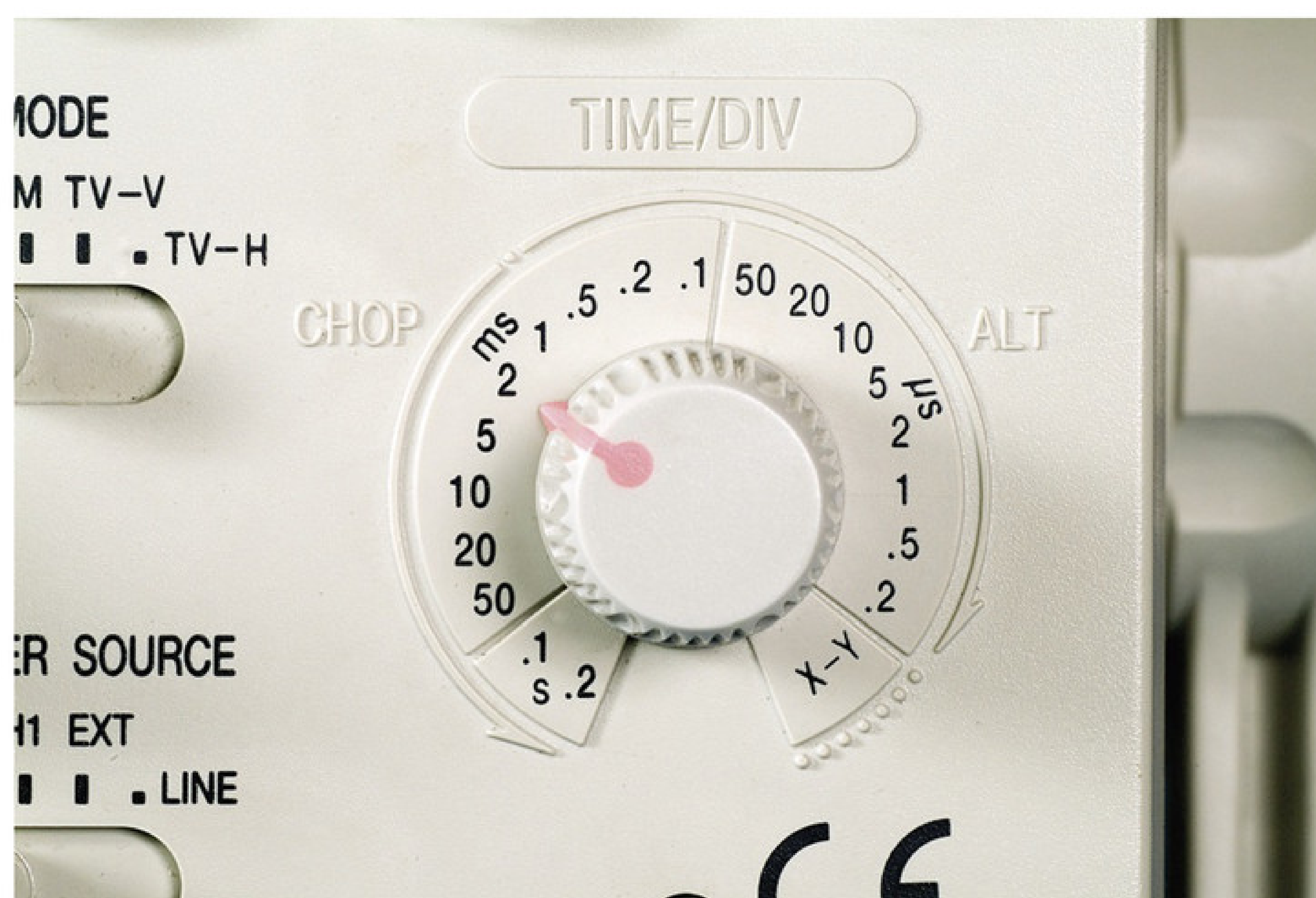
VOORBEELDOPDRACHT

De tijdbasis van de oscilloscoop in figuur 11 is ingesteld op 2 ms/div (2 milliseconden per onderverdeling).
Bereken hoe groot de frequentie van de afgebeelde trilling is.

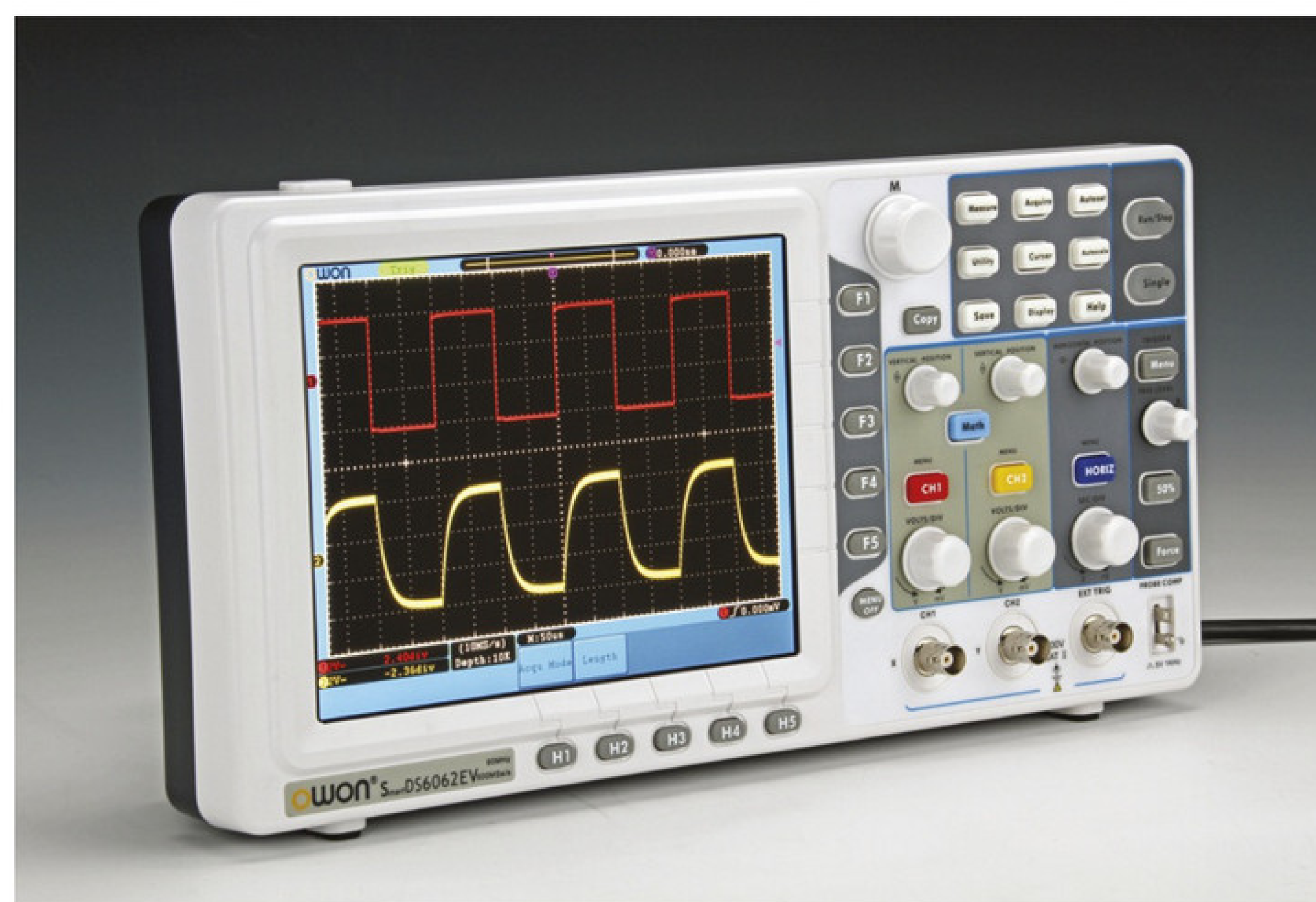
Je ziet dat één volledige trilling vijf vakjes beslaat.
$T = 5 \times 2$ ms = 10 ms = 0,01 s

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}01} = 100 \text{ Hz}$$

Bij een analoge oscilloscoop stel je de tijdbasis in met een draaiknop (figuur 12). Bij een digitale oscilloscoop kun je de tijdbasis ook zelf instellen, of met een druk op de autoset-knop de oscilloscoop de ideale tijdbasis laten zoeken (figuur 13).



figuur 12 De tijdbasis van een oscilloscoop.



figuur 13 Een digitale oscilloscoop.

12 Werken met formules

Bij het vak natuur- en scheikunde moet je af en toe berekeningen maken. Je moet daarbij duidelijk laten zien hoe je aan het antwoord komt.

Werk een berekening daarom als volgt uit:

Stap 1 **Schrijf de gegevens volledig op.**

Stap 2 **Noteer wat gevraagd wordt.**

Stap 3 **Noteer de formule in de juiste vorm.**

Je schrijft de formule voor het vermogen P:

- als $P = U \cdot I$ om het vermogen P te berekenen.
- als $U = \frac{P}{I}$ om de spanning U te berekenen.
- als $I = \frac{P}{U}$ om de stroomsterkte I te berekenen.

Stap 4 **Vul de gegevens in.**

Stap 5 **Noteer het antwoord: een getal, gevolgd door een eenheid.**

Rond de uitkomst af, als je antwoord anders te veel cijfers krijgt. Een bruikbare vuistregel is dat je antwoord evenveel of maximaal één cijfer meer heeft als het gegeven met het kleinst aantal cijfers.

VOORBEELDOPDRACHT
Een metalen cilinder heeft een massa van 196 g en een volume van 22 cm^3.
Bereken de dichtheid van de stof waarvan het cilindertje gemaakt is.
Om welke stof zou het kunnen gaan?

gegevens m = 196 g
V = 22 cm^3

gevraagd ρ = ?

uitwerking $\rho = \frac{m}{V} = \frac{196}{22} = 8{,}9\ g/cm^3$

Het cilindertje zou van koper gemaakt kunnen zijn. Zie tabel 1 De dichtheid van enkele stoffen (bij 20 °C) in paragraaf 4 van hoofdstuk 2.

13 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden. Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag: *Wat is het verband tussen de temperatuur van water in een bekerglas en de tijd dat het water wordt verwarmd?*

Deze vraag gaat over het verband tussen de tijd en de temperatuur. Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je verwarmt het water met een brander. Om de minuut lees je de temperatuur van het water af op een thermometer. De meetresultaten noteer je in een tabel (zie figuur 14a). Na afloop geef je de meetresultaten weer in een grafiek.
Zo'n grafiek maak je als volgt (zie figuur 14b, c en d):

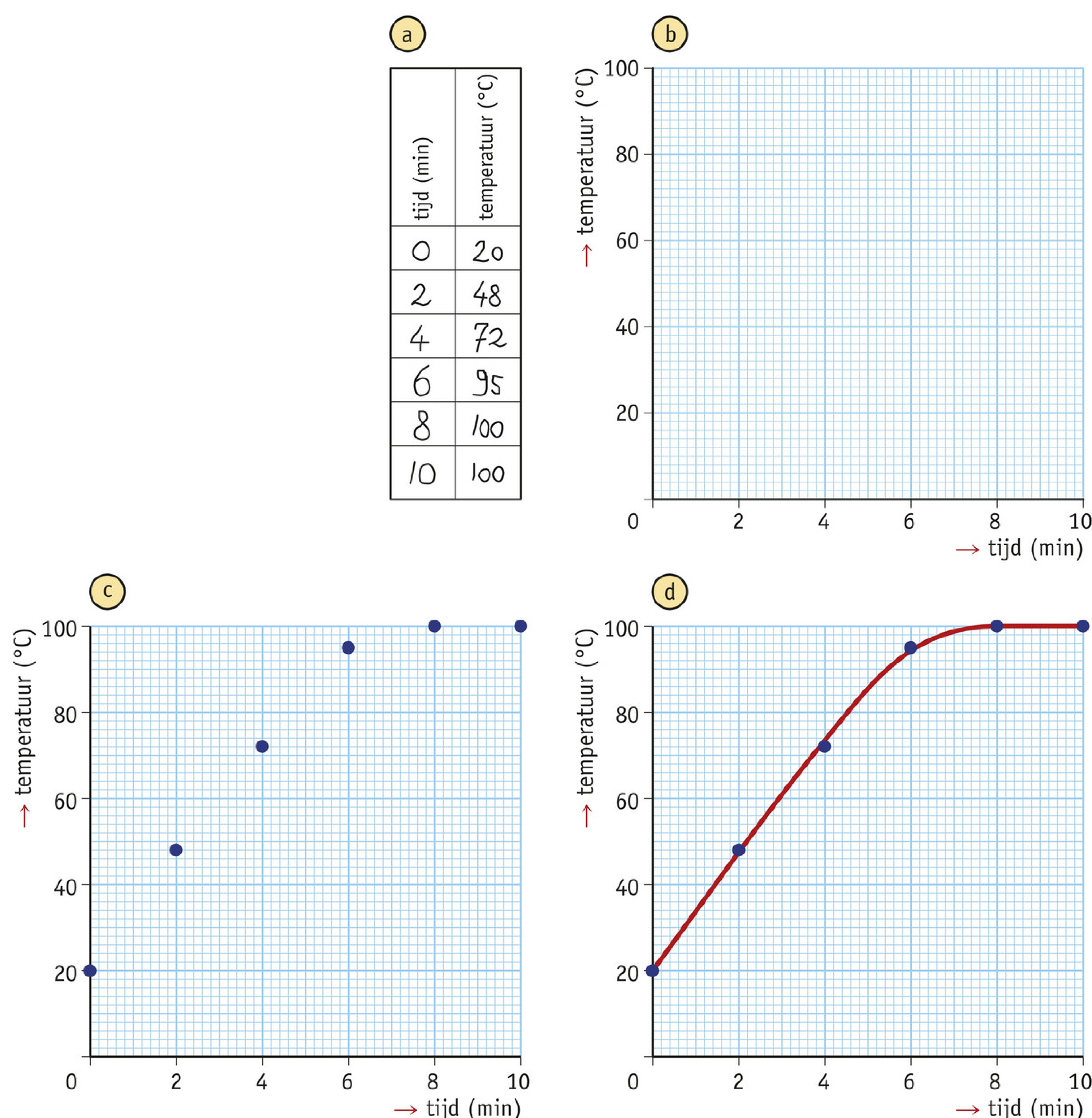
Stap 1 **Teken een assenstelsel.**

Stap 2 **Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.**
Bijvoorbeeld: tijd (min) en temperatuur (°C).

Stap 3 **Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**

Stap 4 **Teken de meetresultaten in als punten.**

Stap 5 **Teken een rechte lijn of een vloeiende kromme die zo goed mogelijk bij de punten aansluit. Je mag de punten niet een voor een met elkaar verbinden.**
Het geeft dus niet dat de rechte lijn of kromme niet precies door alle meetpunten loopt.



tijd (min)	temperatuur (°C)
0	20
2	48
4	72
6	95
8	100
10	100

figuur 14 Van tabel naar grafiek.

14 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij geweest is, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd. Soms moet je ook een verslag maken van een practicumproef of een thuisopdracht.

Deel je verslag als volgt in:

Titelpagina
Hierop vermeld je: de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in het onderzoeksgroepje, de klas, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

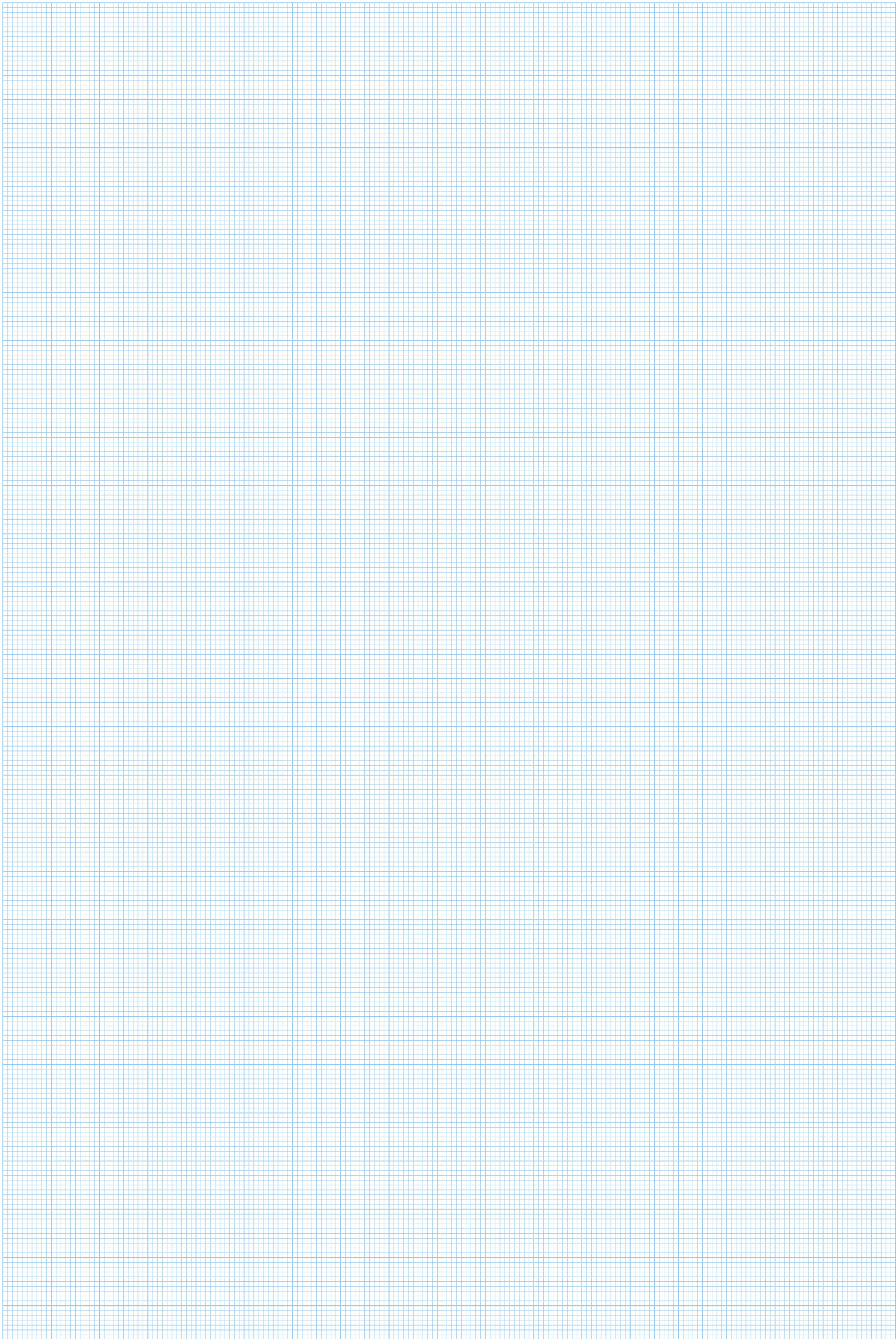
§ 1 Onderzoeksvraag
In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilde beantwoorden.

§ 2 Werkplan
Hierin staat:
- een lijst met de spullen die je hebt gebruikt;
- een tekening van de opstelling die je hebt gemaakt;
- een korte beschrijving van wat je hebt gedaan.

§ 3 Onderzoeksresultaten
Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

§ 4 Conclusie
Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet die inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren.





Register

Achter elk begrip staat de pagina waarop het begrip in de leertekst wordt uitgelegd en de pagina waarop het begrip in het Leerstofoverzicht staat.

Colofon

ONTWERP BINNENWERK
Pointer grafische vormgeving
Crius Group

ONTWERP OMSLAG
Studio Struis

UITVOERING BINNENWERK
Crius Group

AUTEURS
R. Cremers
P. van Hoeflaken
F. Kan
M. Kelder
L. Lenders
P. Oosterlaak
C. Schatorjé
T. Seynaeve
R. Tromp

EINDREDACTIE
S. Michon

TECHNISCH TEKENWERK
Edwin Verbaal/Verbaal Visuele Communicatie, Arnhem, Erik Eshuis Infographics, Groningen, Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam

BEELDRESEARCH
B en U International Picture Service, Amsterdam

BEELDVERANTWOORDING
123RF/Daniel Kloeg: Pag. 99 (o.); 123RF/Dmitry Berkut: Pag. 114; 123RF/Natalia Aleksakhina: Pag. 100; 1996-2019 International Association of Athletics Federations - IAAF: Pag. 11; 1996-2019 International Association of Athletics Federations - IAAF: Pag. 15; Agu Holding BV: Pag. 93 (o.); Alamy Stock Photo/Imageselect/EyeEm: Pag. 136 (r.m.o.); Alamy Stock Photo/Imageselect/NASA: Pag. 136 (r.o.); Alamy Stock Photo/ Imageselect/World History Archive: Pag. 195 (l.), 195 (r.); ANP Foto /Science Photo Library/DAVID NUNUK: Pag. 163; ANP Foto /Science Photo Library/DAVID PARKER: Pag. 139 (r.); ANP Foto /Science Photo Library/GARY HINCKS: Pag. 129 (o.); ANP Foto /Science Photo Library/HERMAN EISENBEISS: Pag. 130; ANP Foto /Science Photo Library/JOHN CHUMACK: Pag. 139 (l.); ANP Foto /Science Photo Library/MARK GARLICK: Pag. 124, 137 (o.); ANP Foto /Science Photo Library/MIGUEL CLARO: Pag. 122/123, 129 (b.); ANP Foto /Science Photo Library/NASA: Pag. 152; ANP Foto/Everett Collection: Pag. 179 (o.); ANP Foto/ Huble Station/NASA: Pag. 96; ANP Foto/Pedro Ugarte: Pag. 18 (b.); ANP Foto/Science Photo Library/LEONARD LESSIN: Pag. 199 (l.b.); ANP/Roel Visser: Pag. 58 (r.b.); Corbis/Getty Images/Construction Photography: Pag. 208 (l.b.); Corbis/ Getty Images/Joe McDonald: Pag. 201; Courtesy of Philips. All rights reserved/Courtesy of Philips. All rights reserved: Pag. 116 (o.); Daliz: Pag. 208 (r.b.); Depositophoto, San Francisco: Pag. 245; Dreamstime: Pag. 84; Edwin Verbaal/Verbaal Visuele Communicatie, Arnhem: Pag. 70 (l.), 70 (r.), 79 (l.o.), 79 (r.o.), 80 (o.), 81 (o.), 85 (l.), 85 (r.), 88 (b.), 89 (b.), 127 (b.), 127 (l.o.), 127 (r.o.), 128, 131, 132, 134, 141, 142, 145, 146, 150 (b.), 151 (o.), 161, 162 (b.), 162 (o.), 165, 166, 167 (l.), 167 (r.), 168, 169, 173, 174, 175, 176, 189, 202, 204 (o.), 205, 214 (r.);

Erik Eshuis Infographics, Groningen: Pag. 13 (o.), 24 (o.), 29 (l.b.), 29 (l.o.), 30 (b.), 0, 33 (o.), 34, 37 (o.), 39, 45, 51, 54, 81 (b.), 83, 91 (b.), 91 (o.), 92 (o.), 93 (b.), 97 (o.), 193, 198 (o.), 199 (r.b.), 200 (r.), 200 (l.), 204 (b.), 206, 207 (o.), 216; Eurofysica: Pag. 253 (r.b.); Flickr/Anan Damoy: Pag. 69 (b.); Fotoburo Jos Schuurman/Jos Schuurman: Pag. 22 (b.); Getty Images/Craig Cozart: Pag. 209; Getty Images/Cultura: Pag. 77 (o.); Getty Images/Flickr Open/Stuart Leche: Pag. 58 (l.b.); Getty Images/Flickr RF/Hélène Desplechin: Pag. 58 (o.); Getty Images/jo unruh: Pag. 82; Getty Images/Photo Researchers/ jansucko: Pag. 13 (b.); Getty Images/Photoplus Magazine: Pag. 9 (o.); Hollandse Hoogte/Bart van Overbeeke Fotografie: Pag. 64/65; Hollandse Hoogte/Joyce van Belkom: Pag. 242; Hollandse Hoogte/Lex Verspeek: Pag. 210; Hollandse Hoogte/ Luuk van der Lee: Pag. 20; Hollandse Hoogte/Marco Ansaloni: Pag. 97 (b.); Hollandse Hoogte/Mariette Carstens: Pag. 217; Hollandse Hoogte/Martijn Beekman : Pag. 218 (b.); Hollandse Hoogte/Peter Hilz: Pag. 22 (o.); Imagebroker/Imageselect/ John Pulsipher: Pag. 153; iStockphoto/Ifness : Pag. 219 (r.b.); Jacob Breimer, Zeeland NB: Pag. 240; Koninklijke Philips BV, Amsterdam: Pag. 73; Larry Reed: Pag. 112;Len Jellicoe's Photos: Pag. 56; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: Pag. 9 (b.), 28, 160 (l.), 160 (r.); Ministerie van Beeld, Gorinchem: Pag. 219 (o.); NASA Earth Observatory/Rob Simmon & Jesse Allen: Pag. 103; NASA/ J. Clarke (Boston University), and Z. Levay (STScI): Pag. 138; NASA/JPL: Pag. 148; NASA/JPL-Caltech/MSSS: Pag. 137 (b.); NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute: Pag. 143; NASA: Pag. 155 (b.), 75; Nationale Beeldbank/John Huizing : Pag. 38; PCE Brookhuis, Enschede: Pag. 151 (b.); Pim Rusch Fotografie, Leiden/Erik Eshuis Infographics, Groningen: Pag. 251; Pim Rusch Fotografie, Leiden: Pag. 68 (b.), 69 (l.o.), 69 (r.o.), 71, 78 (b.), 78 (o.), 79 (b.), 99 (l.b.), 248, 249, 250, 253 (l.b.); Shutterstock /REDPIXEL.PL: Pag. 186/187; Shutterstock /Selcuk Koc: Pag. 190; Shutterstock/3000ad: Pag. 179 (b.); Shutterstock/Alexander: Pag. 126; Shutterstock/AlexZi: Pag. 171; Shutterstock/Andrey_Popov/Mino Surkala: Pag. 115 (o.); Shutterstock/anyaivanova: Pag. 99 (r.b.); Shutterstock/A-photographyy: Pag. 86 (b.); Shutterstock/basel101658: Pag. 233 (b.); Shutterstock/Christopher Chambers: Pag. 149; Shutterstock/DimaBerlin: Pag. 31 (b.); Shutterstock/Dmitriy: Pag. 136 (b.); Shutterstock/Dotted Yeti: Pag. 177; Shutterstock/ Elena11/Edwin Verbaal/Verbaal Visuele Communicatie, Arnhem: Pag. 133; Shutterstock/Erica Smit: Pag. 211 (l.); Shutterstock/ FOTOGRIN: Pag. 57; Shutterstock/Gorodenkoff: Pag. 178 (r.); Shutterstock/Katharina Wittfeld: Pag. 98; Shutterstock/ Ksanawo: Pag. 136 (l.o.); Shutterstock/maphichai: Pag. 125; Shutterstock/marshalgonz: Pag. 178 (l.); Shutterstock/ maurobeltran: Pag. 74 (o.); Shutterstock/MBLifestyle: Pag. 102; Shutterstock/Muzhik: Pag. 156; Shutterstock/New Africa: Pag. 219 (l.b.); Shutterstock/pio3: Pag. 6/7; Shutterstock/ Stefan Malloch: Pag. 233 (o.); Shutterstock/stockfour: Pag. 72 (l.); Shutterstock/stockfour: Pag. 72 (r.); Shutterstock/ Tanison Pachtanom: Pag. 101; Shutterstock/Tristan3D: Pag. 136 (l.m.o.); Shutterstock/VIVOBOOK: Pag. 115 (b.); Shutterstock/ wavebreakmedia: Pag. 116 (b.); Shutterstock/wjarek: Pag. 92 (b.); Shutterstock/Wolfgang Kloehr: Pag. 164; Shutterstock: Pag. 218 (o.), 252; Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam: Pag. 19, 27 (b.); The Erasmus MC University Medical Center Rotterdam: Pag. 232; Wil Tirion - Uranography & Graphic Design, Capelle aan den Ijssel (met toestemming van allesover-sterrenkunde.nl): Pag. 159

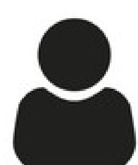
Omslag
anatoliy_gleb/Shutterstock

ISBN 978 94 020 6898 6

Release 2021, eerste oplage

MALMBERG

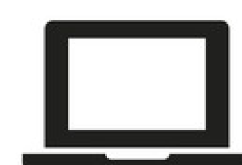
MAX



Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.



Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.



Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

AUTEURS

R. Cremers

P. van Hoeflaken

F. Kan

M. Kelder

L. Lenders

P. Oosterlaak

C. Schatorjé

T. Seynaeve

R. Tromp

EINDREDACTIE

S. Michon

ISBN 978 94 020 6898 6



9 789402 068986

596158

MALMBERG